

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Часть первая. Силовая часть и системы управления электроприводами	5
Раздел 1. Основные технические характеристики электроприводов	5
1.1. Назначение и классификация	5
1.2. Технические данные электроприводов	13
1.3. Состав и функциональные схемы тиристорных электроприводов	19
1.4. Компоновка и конструкция электроприводов	34
Раздел 2. Преобразовательная часть электроприводов	49
2.1. Состав и функциональные схемы	49
2.2. Силовая часть тиристорных преобразователей	59
2.3. Системы импульсно-фазового управления	64
2.4. Система защит преобразовательной части	84
Раздел 3. Системы управления электроприводами	95
3.1. Общие сведения	95
3.2. Основные узлы систем управления	99
3.3. Регулирование скорости, ЭДС или напряжения	119
3.4. Регулирование положения	127
3.5. Регулирование натяжения	130
3.6. Специальные системы электроприводов, применяемые в серии КТЭУ	142
Раздел 4. Наладка и эксплуатация тиристорных электроприводов	148
4.1. Контрольно-испытательное оборудование	148
4.2. Наладка электроприводов	156
4.3. Эксплуатация тиристорных электроприводов	162
Часть вторая. Базовые конструктивы, функциональные модули и комплектующая аппаратура	168
Раздел 5. Конструктивы и модули вентильной части и систем управления	168
5.1. Системы охлаждения и конструктивы вентильной части	168
5.2. Модули систем управления	174

Раздел 6. Комплектующая аппаратура силовой части и систем управления	177
6.1. Электрические машины и датчики	177
6.2. Силовое электрооборудование и аппаратура	181
6.3. Аппаратура цепей регулирования, защиты, сигнализации	206
Раздел 7. Элементная база систем управления комплектными тиристорными электроприводами	211
7.1. Номенклатура аналоговых элементов систем управления	211
7.2. Задатчики входных величин	222
7.3. Ячейки датчиков регулируемых величин, потенциальных разделителей, преобразователей уровня	229
7.4. Ячейки регуляторов	233
7.5. Вычислительные устройства	238
7.6. Ячейки бесконтактного управления	242
7.7. Источники питания	247
7.8. Блоки с аналоговыми элементами	252
7.9. Ячейки модернизированной серии электроприводов	256
7.10. Цифровые элементы управления электроприводами	259
Раздел 8. Трансформаторное и реакторное оборудование	262
8.1. Основные сведения	262
8.2. Сухие трансформаторы	268
8.3. Совтоловые трансформаторы	276
8.4. Масляные трансформаторы	279
8.5. Сглаживающие реакторы	299
8.6. Токоограничивающие реакторы	303
Приложения	306
Список литературы	313

ПРЕДИСЛОВИЕ

В регулируемых электроприводах постоянного тока в качестве источников питания используются, как правило, тиристорные преобразователи, имеющие малую мощность управления, высокий КПД и большую надежность. Они являются универсальным средством преобразования переменного напряжения питающей сети в регулируемое постоянное. Задача регулирования координат электропривода возлагается на систему регулирования, построенную на основе универсальной блочной системы регуляторов (УБСР), создание которой стало возможно благодаря достижениям микроэлектроники и теоретическим исследованиям принципов регулирования электроприводов. Предприятия Минэлектротехпрома разработали и осуществляют поставки комплектных тиристорных электроприводов, состоящих из всех согласованных по своим техническим и конструктивным характеристикам (или подавляющего большинства) составных элементов, узлов и устройств электропривода, что позволяет снизить трудоемкость разработок и изготовления электроприводов, повысить их заводскую готовность, уменьшить затраты на электромонтажные работы, сократить время на проектирование электроприводов и на их наладку.

Комплектные тиристорные электроприводы предназначены для ведущих отраслей промышленности: металлургической, горной, машиностроительной, бумагоделательной, но они могут использоваться и в других отраслях. Там, где требуется регулирование скорости или положения исполнительного органа, натяжения обрабатываемого материала и т. п., целесообразно применять комплектный тиристорный электропривод.

В справочнике приведены подробные сведения по комплектным тиристорным электроприводам постоянного тока, выпускаемым ведущими предприятиями электропромышленности СССР. В отличие от ранее вышедших справочников по электроприводу [1—3] в данном справочнике основное внимание уделено конкретным схемным и конструктивным особенностям комплектных тиристорных электроприводов постоянного тока. При построении справочника принят принцип одинакового описания однотипных функциональных узлов электроприводов, что позволяет сопоставить различные схемные решения.

В связи с ограниченным объемом книги основное внимание уделено наиболее массовым сериям, выпускаемым ведущими предприятиями —

производственными объединениями ХЭМЗ и «Преобразователь».

В разд. 1 приведены сведения по номинальным параметрам и техническим характеристикам комплектных тиристорных электроприводов и комплектных преобразовательных агрегатов, выпускаемых в СССР, их номенклатуре, способам типобразования, структурным схемам.

В разд. 2 описаны силовая часть электроприводов, системы импульсно-фазового управления и системы защиты.

В разд. 3 изложены сведения по системам управления тиристорными электроприводами. Раздел 4 посвящен методам наладки и особенностям эксплуатации тиристорных электроприводов. В разд. 5 коротко описаны основные элементы конструкций силовой части и систем управления. В разд. 6—8 приведены технические характеристики аппаратуры, используемой в силовой части электропривода, элементов и аппаратов систем управления комплектными электроприводами.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность рецензенту канд. техн. наук В. М. Хуторецкому, а также канд. техн. наук В. Д. Кочеткову за внимательное и компетентное редактирование.

Все замечания по справочнику следует направлять в адрес Энергоатомиздата; 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Авторы

СИЛОВАЯ ЧАСТЬ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Раздел 1

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

1.1. Назначение и классификация

Электропривод представляет собой электромеханическую систему, состоящую из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенную для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением.

В зависимости от типа электродвигателя различают электроприводы *постоянного* и *переменного* тока. В справочнике рассматриваются только электроприводы постоянного тока.

Различают также *регулируемый* электропривод, параметры движения которого могут изменяться по внешним командам, и *нерегулируемый*. Наиболее совершенным видом регулируемого электропривода является электропривод постоянного тока, в котором регулирование осуществляется изменением среднего значения напряжения, приложенного к якору электродвигателя постоянного тока и (или) к его обмотке возбуждения. В последнее время в качестве источника регулируемого напряжения постоянного тока используют, как правило, тиристорные преобразователи (ТП). Такие электроприводы называются *тиристорными*.

Комплектные тиристорные электроприводы имеют исполнения:

- а) по току и напряжению ТП;
- б) по числу двигателей — однодвигательные, двухдвигательные, многодвигательные;
- в) по наличию или отсутствию реверса — нереверсивные, реверсивные с изменением направления тока возбуждения, реверсивные с изменением полярности напряжения на якоре;
- г) по диапазону изменения скорости двигателя — однозонные, двухзонные;
- д) по основному регулируемому параметру — скорость, ЭДС, напряжение, положение, натяжение, мощность;
- е) по дополнительному составу аппаратуры силовой цепи — с линейным контактором и без него, с динамическим торможением и без него;
- ж) по напряжению питающей сети — 380 В, 6 или 10 кВ;
- з) по способу связи с питающей сетью — трансформаторная связь, реакторная связь.

Таблица 1.1

Наименование серии электропривода	Изготовитель	Номер ТУ	Номинальные данные		Основные регулируемые координаты
			$I_{\text{ном}}, \text{ A}$	$U_{\text{ном}}, \text{ В}$	
Комплектиные тиристорные электроприводы унифицированные серии КТЭУ мощностью до 2000 кВт	ПО ХЭМЗ	ТУ 16-530. 252-79	25, 50, 100, 200, 320, 500, 800, 1000, 1600, 2500, 3200, 4000	220, 440, 600, 750, 930	Скорость, ЭДС, положение, мощность, натяжение, специальные системы
Электроприводы комплектиные тиристорные серии ЭКТ мощностью до 2000 кВт	То же	ТУ 16-654 020-86	25, 50, 100, 200, 320, 500, 800, 1000, 1600, 2500, 3200, 4000	220, 440, 600, 750, 930	Скорость, ЭДС, объектно-ориентированные системы управления
Комплектные тиристорные электроприводы унифицированные серии КТЭУ мощностью 1000—12 000 кВт	» »	ТУ 16-530. 274-81	1600, 2500, 3200, 4000, 5000, 6300, 8000, 10 000, 12 500	440, 600, 750, 930	Скорость, мощность, специальные системы
Комплектные тиристорные электроприводы с естественным воздушным охлаждением серии КТЭ мощностью до 1000 кВт	ЗПО «Преобразователь»	ТУ 16-530. 271-81	25, 50, 100, 200, 320, 500, 800, 1000, 1600	220, 440, 600	Скорость, ЭДС, мощность, положение, натяжение
Тиристорные преобразовательные агрегаты серии ТПП-1 мощностью 1000—	То же	ТУ 16-729. 395-83	1600, 2500, 4000, 5000, 6300, 8000,	460, 660, 825, 1050	—

13 000 кВт, предназначенные для комплектных тиристорных электроприводов			10 000, 12 500		
Тиристорные преобразовательные агрегаты с естественным воздушным охлаждением серий ТЕ, ТЕР мощностью 23—825 кВт, предназначенные для комплектных тиристорных электроприводов	ПО «Уралэлектротяжмаш»	ТУ 16-739. 060-76	100, 200, 320, 500, 800, 1000	230, 345, 460, 660	—
Тиристорные преобразовательные агрегаты с воздушным охлаждением серий ТВ, ТВР мощностью 750—13 000 кВт, предназначенные для комплектных тиристорных электроприводов	То же	ТУ 16-435. 020-84	1600, 2500, 3200, 4000, 5000, 6300, 8000, 10 000, 12 500	460, 660, 825, 1050	Скорость, ЭДС, мощность, положение, натяжение
Комплектные тиристорные электроприводы реверсивные серии ЭТУ 3601 для привода подач станков	Александринский электро-механический завод	ТУ 16-530. 238-78	10, 40, 100	115, 230	Скорость (модификация — с наличием связи с ЧПУ)
Электроприводы комплектные тиристорные неревверсивные серии ЭТЗ мощностью 1,1—2,2 кВт для привода главного движения станков	Прокопьевский завод «Электро-машина»	ТУ 16-530. 190-75	—	110, 220, 440	Скорость

Наименование серии электропривода	Изготовитель	Номер ТУ	Номинальные данные		Основные регулируемые координаты
			$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	
Электроприводы комплектные тиристорные реверсивные с реверсом поля двигателя серии ЭТРП мощностью 1,6—30 кВт для привода станков	Прокопьевский завод «Электромашина»	ТУ 16-530.242-79	—	220, 440	Скорость
Электроприводы комплектные тиристорные реверсивные серии ЭТ6 мощностью 0,75—11,3 кВт для привода подач станков	То же	ТУ 16-530.223-77	—	60, 70, 90, 95, 110, 220	»
Электроприводы унифицированные трехфазные серии ЭПУ1 для привода станков	Чебоксарский электроаппаратный завод. Александринский электро-механический завод. Прокопьевский завод «Электромашина»	ТУ 16-530.304-83	25, 50, 100, 200, 400, 630	115, 230, 460	»
Электроприводы унифицированные однофазные серии ЭПУ2 для привода станков и роботов	Харьковский завод «Электромашина»	ТУ 16-654.002-84	5, 10, 25	115, 230	»

Комплектные тиристорные электроприводы имеют также исполнения по виду охлаждения силовых тиристорov — естественное, воздушное, водяное; по обслуживанию шкафов с аппаратурой — одностороннее или двустороннее и т. п.

Указанные признаки находят свое отражение в типе электропривода, который присвоен заводом-изготовителем. Серии электроприводов, рассматриваемые в справочнике, приведены в табл. 1.1.

Ниже приводятся структуры типобразования комплектных тиристорных электроприводов и агрегатов для их питания:

1. Электроприводы серии КТЭУ мощностью до 2000 кВт:

КТЭУ- $I_{\text{ном}}/U_{\text{ном}}$ - АВВГД-УХЛ4 (-О4).

Буквы А, Б, В, Г, Д заменяют определенные цифры, как это показано далее, УХЛ указывает на исполнение для районов с умеренным и холодным климатом, О — общепромышленное исполнение, последняя цифра 4 обозначает категорию размещения по ГОСТ 15150-69, т. е. в закрытых отапливаемых помещениях. Буквы А, Б, В, Г, Д имеют следующие значения:

А — количество двигателей: 0 — без двигателя (в этом случае электропривод фактически представляет собой комплектный преобразовательный агрегат без системы управления электроприводом), 1 — ододвигательный, 2 — двухдвигательный с параллельным соединением якорей, 3 — многодвигательный с параллельным соединением якорей, 4 — двухдвигательный с последовательным соединением якорей.

Б — режим работы: 1 — нереверсивный, 2 — реверсивный с изменением направления тока в цепи обмотки возбуждения без режима рекуперации, 3 — реверсивный с изменением полярности напряжения на якоре.

В — исполнение ТП по способу связи с сетью: 1 — с реактором, 2 — с трансформатором.

Г — основной регулируемый параметр: 0 — без системы регулирования, 1 — ЭДС или скорость, однозонное регулирование, 2 — скорость, двухзонное регулирование, 3 — положение, 4 — синхронизация по положению двух электроприводов, 5 — мощность, 6 — мощность, с прямым регулятором натяжения и цифровым измерителем радиуса наматываемого рулона (см. разд. 3), 7 — натяжение, 8 — специальная система регулирования, 9 — скорость, для шахтных подъемных машин и специальных исполнений.

Д — состав коммутационной аппаратуры силовой цепи: 0 — без аппаратуры, 1 — с динамическим торможением, 2 — с линейным контактором и динамическим торможением, 3 — с линейным контактором.

Пример типобразования: КТЭУ-1000/440-13222-УХЛ4.

2. Электроприводы серии ЭКТ мощностью до 2000 кВт:

ЭКТ- $I_{\text{ном}}/U_{\text{ном}}$ - АВВГ-УХЛ4 (-О4).

Буквы имеют следующие значения:

А — исполнение силовой части: 1 — ододвигательный, 2 — ододвигательный с линейным контактором, 3 — ододвигательный с динамическим торможением, 4 — ододвигательный с линейным контактором и динамическим торможением, 5 — двухдвигательный с линейным контактором, 6 — двухдвигательный с линейным контактором и динамическим торможением.

Б — режим работы и способ связи с сетью: 1 — нереверсивный с реактором, 2 — нереверсивный с трансформатором, 3 — реверсивный с реактором, 4 — реверсивный с трансформатором, 5 — реверсивный с реверсом поля.

В — исполнение по способу задания скорости и особенностям системы управления: 1 — ступенчатое задание, типовой электропривод, 2 — плавное задание, типовой электропривод, 3 — объектно-ориентированный электропривод.

Г — способ вентиляции: 0 — естественная, 1 — принудительная индивидуальная, 2 — принудительная групповая.

Пример типобразования: ЭКТ-1000/440-4411-УХЛ4.

3. Электроприводы серии КТЭУ мощностью 1000—12 000 кВт:

КТЭУ- $I_{\text{ном}}/U_{\text{ном}}$ -АБВГДЕЖ- $I_{\text{в}}$ З-УХЛ4 (О4).

Значения букв А, Г, Д такие же, как и в п. 1, а значения остальных букв следующие:

Б — режим работы: 1 — реверсивный с изменением полярности тока возбуждения без режима рекуперации, 2 — то же, но с режимом рекуперации, 3 — реверсивный с изменением полярности напряжения на якоре, 4 — нереверсивный.

В — силовая схема ТП: 2—6-пульсная нулевая схема, 3—6-пульсная мостовая схема, 4—12-пульсная схема, 5—6-пульсная мостовая схема с уменьшенным числом тиристоров, 6—12-пульсная реверсивная схема с разным числом тиристоров для выпрямительных мостов обоих направлений протекания тока.

Е — охлаждение: 1 — индивидуальное с забором воздуха из окружающей среды, 2 — то же из подвального помещения, 3 — групповое.

Ж — вывод шин вентиляционных секций: 0 — шины выведены блок, 1 — шины переменного и постоянного тока выведены вверх, 2 — шины переменного и постоянного тока выведены вниз, 3 — шины переменного тока выведены вверх, шины постоянного тока — вниз, 4 — шины переменного тока выведены вниз, шины постоянного тока — вверх, 5 — комплектная компоновка, шины переменного тока выведены вверх, шины постоянного тока — вниз.

$I_{\text{в}}$ — номинальный ток возбуждения возбудителя: 000 — без возбудителя, 100, 200, 320, 500 — ток возбудителя, А.

З — исполнение возбудителя: 0 — без возбудителя, Т — трансформаторное питание (220 В), Р — реакторное питание (440 В).

Пример типобразования: КТЭУ-6300/930-1342023-200Р-УХЛ4.

4. Серия КТЭ мощностью до 1000 кВт:

КТЭ- $I_{\text{ном}}/U_{\text{ном}}$ -АБВ-ГВМТД-УХЛ4 (О4).

Значения букв:

А — исполнение силовой схемы электропривода: 1 — однодвигательный электропривод без линейного контактора, 2 — двухдвигательный электропривод с параллельным соединением якорей двигателей, 3 — многодвигательный электропривод, 5 — однодвигательный электропривод с линейным контактором, 9 — тиристорный возбудитель.

Значения букв Б, В (первая) аналогичны значениям букв серии КТЭУ мощностью до 2000 кВт (см. п. 1).

Г — исполнение автоматической системы регулирования (АСР): 0 — без АСР, 1 — АСР скорости однозонная, 2 — АСР скорости двухзонная

с адаптацией при изменении потока возбуждения, 3 — АСР положения однозонная, 4 — АСР положения двухзонная, 5 — АСР скорости двухзонная, 6 — АСР мощности однозонная, 7 — АСР скорости многодвигательного (10 двигателей) привода, 8 — то же, но для 20 двигателей, 9 — АСР взаимной синхронизации по положению, 10 — цифровая положения, 11 — АСР скорости с изменением направления тока возбуждения, 13 — АСР мощности двухзонная, 14 — цифровая АСР положения с цифровой синхронизацией по положению, 16 — АСР межклетевого натяжения, 18 — цифровая АСР скорости, 19 — АСР скорости двухдвигательного привода с выравниванием нагрузок воздействием на возбуждение, 20 — АСР натяжения.

В (вторая) — наличие устройства питания обмотки возбуждения двигателя.

М, Т, Д — соответственно наличие питания электромагнитного тормоза, питания обмотки возбуждения тахогенератора, динамического торможения. При отсутствии какого-либо из этих устройств соответствующая буква опускается.

Примеры типобразования: КТЭ-500/440-131-1ВМТД-УХЛ4, КТЭ-1000/440-232-19ВД-УХЛ4.

5. Трансформаторные агрегаты серии ТПП1:

$$\text{ТПП1} - \frac{I_{\text{ном}} (\text{В})}{I_{\text{ном}} (\text{Н})} - U_{\text{ном}} - \text{УХЛ4} (-\text{О4}) - \text{АБ}.$$

Номинальное значение тока в числителе относится к одному выпрямительному мосту (мост «Вперед», а в знаменателе — к другому выпрямительному мосту (мост «Назад»). Нереверсивные ТП имеют только одно значение номинального тока. Значение букв таково:

А — компоновка: 1 — комплектная, 2 — свободная.

Б — вид охлаждения: 1 — с вентилятором и забором воздуха через жалюзи в шкафах, 2 — централизованная система вентиляции, 3 — с вентилятором и забором воздуха через патрубок в дне шкафа.

Пример типобразования: ТПП1- $\frac{12\,500}{6300}$ -1050-УХЛ4-22.

6. Агрегаты серии ТЕ(Р):

$$\text{ТЕ (Р)А} - I_{\text{ном}} / U_{\text{ном}} - \text{БВ} - \text{УХЛ4}.$$

Значение букв:

А — класс перегрузки: 2 — класс перегрузки 7 по ГОСТ 18142-80, 3 — класс перегрузки 8, 4 — класс перегрузки 9.

Б — подключение к сети: Т — трансформаторный вариант, Р — реакторный.

В — номер модернизации.

Пример типобразования: ТЕР3-320/230Т2-УХЛ4.

7. Агрегаты серии ТВ(Р):

$$\text{ТВ(Р)А} - \frac{I_{\text{ном}} (\text{В})}{I_{\text{ном}} (\text{Н})} U_{\text{ном}} \text{ Т2-Б.Г.Д.Е-УХЛ4} (-\text{О4}).$$

Значение букв:

А — класс перегрузки (с. п. 6).

Б — управление выпрямительными мостами реверсивных ТП; Р — раздельное, С — совместное, 0 — нереверсивный агрегат.

Г — пульсность схемы выпрямления: 1 — $m=6$, 2 — $m=12$.

Д — исполнение системы регулирования в соответствии с номенклатурой — две цифры.

Е — конструктивное исполнение выводов шин вентильной секции: 1 — шины переменного тока выведены вверх, шины постоянного тока — вниз, 2 — шины постоянного и переменного тока выведены вверх.

Пример типобразования: ТВР4- $\frac{10\,000}{5000}$ -1050Т2-Р.2.02.1-УХЛ4.

8. Электропривод серии ЭТУ:

ЭТУ3601-АВСДЕ-УХЛ4 (-О4).

Значение букв:

АБ — номинальный выпрямленный ток: 30 — 10 А, 36 — 40 А, 40 — 100 А.

С — номинальное выпрямленное напряжение: 1 — 115 В, 2 — 230 В.

Д — напряжение питающей сети: 4 — 220 В, 50, 60 Гц; 5 — 230 В, 50 Гц; 7 — 380 В, 50, 60 Гц; Т — 440 В, 60 Гц; 8 — 400 В, 50 Гц; У — 460 В, 60 Гц; 9 — 415 В, 50 Гц.

Е — характеристика электропривода: П — диапазон регулирования скорости 1000 : 1; Ш — то же, 10^4 : 1; С — 10^4 : 1 с узлом связи с ЧПУ.

Пример типобразования: ЭТУ3601-4027ПУХЛ4.

9. Электропривод серии ЭТЗ:

ЭТЗ-АБВ-Г/Д У4.

Значение букв:

А — режим работы: 1 — однозонный, 2 — двухзонный.

Б — номинальное напряжение электродвигателя: 1 — 110 В, 2 — 220 В, 4 — 440 В.

В — тип электродвигателя: 1 — ПБС, 2 — 2ПФ, 3 — 2ПБ, 4 — 2ПО, 5 — по согласованию.

Г — габариты электродвигателя.

Д — номинальная частота вращения, об/мин.

Пример типобразования: ЭТЗ-222-160 М/1000У4.

10. Электропривод серии ЭТ6:

ЭТ6-А-БВ-Г/Д-Е/Ж УХЛ4.

Значение букв:

А — режим работы электропривода: Р — реверсивный, С — реверсивный электропривод с гарантированными параметрами динамики.

Б — коэффициент передачи по задающему сигналу: 1 — при $U_z = 10$ В частота вращения электродвигателя типа ПВ равна 1000 об/мин, для остальных типов электродвигателей — номинальной частоте вращения; 2 — при $U_z = 10$ В частота вращения двигателя типа ПВ равна 2000 об/мин.

В — тип электродвигателя: 1 — 2П, 2 — ПБСТ, 3 — ПГТ, 4 — ПБВ.

Г — номинальная мощность трансформатора, кВт·А.

Д — номинальное напряжение электродвигателя, В.

Е — определяет типоразмер электродвигателя.

Ж — номинальная частота вращения, об/мин.

Пример типобразования: ЭТ6-С-24-10/53-132М/600 УХЛ4.

11. Электропривод серии ЭТП:

ЭТП-АБВ-Г/Д УХЛ4(О4).

Значение букв:

А — режим работы: 1 — однозонный, 2 — двухзонный.

Б — номинальное напряжение на якоре электродвигателя: 1 — 220 В, 2 — 440 В.

В — тип электродвигателя: 1 — 2ПФ, 2 — 2ПБ, 3 — 2ПО, 4 — по согласованию.

Г — габариты электродвигателя.

Д — номинальная частота вращения электродвигателя, об/мин.

Пример типобразования: ЭТРП-123-180М/750 УХЛ4.

12. Электропривод серии ЭПУ1:

ЭПУ1-А-БВГД-УХЛ4 (О4).

Значение букв:

А — исполнение по реверсу: 1 — нереверсивный, 2 — реверсивный.

Б — номинальный ток: 34—25 А; 37—50 А; 40—100 А; 43—200 А; 46—400 А; 48—630 А.

В — номинальное напряжение: 1—115 В; 2—230 В; 4—460 В.

Г — напряжение трехфазной питающей сети, в частности 4—220 В, 50 Гц; 7—380 В, 50 Гц.

Д — функциональная характеристика: П — приводы подачи, однозонные, с обратной связью по скорости, диапазон регулирования до 1000; Д — двухзонные, диапазон регулирования до 1000; Е — с обратной связью по ЭДС, однозонные, диапазон регулирования до 20; М — однозонные, с обратной связью по скорости, диапазон регулирования до 1000.

Пример типобразования: ЭПУ1-2-3727П УХЛ4.

13. Электропривод серии ЭПУ2:

ЭПУ2-А-БВГД-УХЛ4(О4).

Значение букв:

А — то же значение, что и для серии ЭПУ1.

Б — номинальный ток: 27—5 А; 30—10 А; 34—25 А.

В — номинальное напряжение: 1—115 В; 2—230 В.

Г — напряжение питающей сети: 4—220 В; 5—230 В; 7—380 В.

Д — дополнительная характеристика: Е — обратная связь по ЭДС, М — обратная связь по скорости.

Пример типобразования: ЭПУ2-1-3027Е УХЛ4.

1.2. Технические данные электроприводов

Основными техническими данными комплектных тиристорных электроприводов являются номинальный ток $I_{ном}$ и напряжение $U_{ном}$. Номинальный ток электропривода выбирается по току ТП и может быть больше номинального тока двигателя. При выборе электропривода следует проверить, чтобы максимальный ток двигателя не превосходил максимально допустимый ток электропривода. Как правило, для наиболее ответственных механизмов выбор электропривода производится с учетом реальных графиков нагрузки электродвигателя. Для многодвигательных электроприводов за номинальный ток электропривода принимается суммарный ток двигателей.

Номинальное напряжение электропривода определяется номинальным напряжением электродвигателя. Оно меньше номинального напря-

жения ТП, определяемого по ГОСТ 25953-83, на 5—10 %, что обеспечивает необходимый запас на регулирование скорости и на безопасное инвертирование при снижении напряжения питающей сети. При питании ТП через реактор от сети 380 В в реверсивных электроприводах обеспечивается напряжение двигателя не выше 400 В, что приводит к его недоиспользованию.

Электроприводы серий КТЭУ, ЭКТ, КТЭ, ТП и тиристорные агрегаты серий ТПП1, ТВ, ТВР выпускают с сочетаниями $U_{\text{ном}}$ и $I_{\text{ном}}$, приведенными в табл. 1.2—1.6.

Т а б л и ц а 1.2. Электроприводы серий КТЭУ и ЭКТ мощностью до 2000 кВт

$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	440	600	750	930
$I_{\text{ном}}, \text{А}$	25, 50, 100, 200, 320, 500, 800, 1000, 1600, 2500	25, 50, 100, 200, 320, 500, 800, 1000, 1600, 2500, 3200, 4000	500, 800, 1000, 1600, 2500, 3200	1000, 1600, 2500	2500

Т а б л и ц а 1.3. Электроприводы серии КТЭУ мощностью 1000—12 000 кВт

$U_{\text{ном}}, \text{В}$	440	600	750	930
$I_{\text{ном}}, \text{кА}$	1,6; 2,5; 3,2; 4	1,6; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3	1,6; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10	2,5; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5

Примечание. Электроприводы с номинальным током 6,3 кА и выше выполняют по 12-пульсной выпрямительной схеме, реверсивные электроприводы на эти токи могут иметь несимметричное исполнение, при котором выпрямительный мост «Назад» рассчитан на половину номинального тока электропривода.

Т а б л и ц а 1.4. Электроприводы серии КТЭ

$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220, 440	600
$I_{\text{ном}}, \text{А}$	25, 50, 100, 200, 320, 500, 800, 1000, 1600	500, 800, 1000, 1600

Примечание. Многодвигательные электроприводы серий КТЭУ, КТЭ имеют исполнения на 220 и 440 В и токи от 15 до 630 А для каждого двигателя.

Т а б л и ц а 1.5. Тиристорные преобразователи серии ТПП1

$U_{\text{НОМ}}$, В	460	660	825	1050
$I_{\text{НОМ}}$, кА	2,5	1,6; 2,5; 4; 5	1,6; 2,5; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5	2,5; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5

Примечание. Реверсивные ТП, начиная с номинального тока 5 кА и выше, могут выполняться по несимметричной схеме, причем выпрямительный мост «Вперед» выполняется по 12-пульсной схеме, а мост «Назад» — по 6-пульсной. Несимметричные реверсивные ТП с $I_{\text{НОМ}}=12,5$ кА имеют выпрямительный мост «Назад», выполненный также по 12-пульсной схеме и рассчитанный на $I_{\text{НОМ}}=6,3$ кА.

Т а б л и ц а 1.6. Тиристорные агрегаты серий ТВ, ТВР

$U_{\text{НОМ}}$, В	460	660	825	1050
$I_{\text{НОМ}}$, кА	1,6; 2,5; 3,2; 4	1,6; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3	1,6; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10	2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5

Примечание. Тиристорные агрегаты при $I_{\text{НОМ}}=1,6; 2,5; 3,2$ кА выполняются по 6-пульсной схеме выпрямления, при $I_{\text{НОМ}}=4; 6,3$ кА могут выполняться как по 6-пульсной, так и по 12-пульсной схеме, при $I_{\text{НОМ}}=8; 10; 12,5$ кА — только по 12-пульсной схеме. Реверсивные тиристорные агрегаты с номинальным током 4 кА и выше могут также выполняться по несимметричным схемам.

Тиристорные преобразовательные агрегаты серии ТЕ(Р) выпускаются в неревверсивном трансформаторном исполнении на ток 1000 А при напряжениях 230, 345, 460 В, а в реверсивном исполнении — на следующие сочетания тока, напряжения и способа подключения к питающей сети: 100/230Р, 100/230Т, 100/345Р, 100/460Р, 200/230Т, 200/460Р, 320/230Р, 320/230Т, 320/345Р, 320/460Р, 500/230Т, 500/345Р, 500/460Р, 500/460Т, 1000/230Т, 1000/345Т, 1000/460Т, 1250/660Т.

Электроприводы серий КТЭУ, ЭКТ, КТЭ и тиристорные преобразовательные агрегаты серии ТПП выдерживают следующие перегрузки в динамических режимах:

Перегрузка, %	Продолжительность перегрузки, с	Класс перегрузки по ГОСТ 18142-80
75	60	7
100	15	8
125	10	9

Среднеквадратичное значение тока при этом не должно превосходить номинальное за время усреднения 10 мин.

Электроприводы серии КТЭУ с номинальным током 2500 А и более допускают длительную работу при выходе из строя одной параллельной ветви в каждом плече выпрямительного моста ТП. В электроприводах

серии КТЭ и тиристорных агрегатах ТПП1 такая работа допускается у электроприводов с номинальным током 800 А и более.

Электроприводы серии КТЭУ мощностью 1000—12 000 кВт исполнительной силовой части 3, 4, 6 допускают работу в течение 5 мин при выходе из строя двух параллельных ветвей в каждом плече выпрямителя.

Электроприводы, имеющие принудительное естественное охлаждение, допускают работу при его исчезновении в течение 3—5 мин.

Тиристорные агрегаты серии ТЕ(Р) рассчитаны на класс перегрузки 8, а тиристорные агрегаты серии ТВ(ТВР) — на класс перегрузки 9, допускается работа по классам 7 и 8.

Преобразовательные агрегаты серий ТЕ(Р), ТВ(Р) при $I_{\text{ном}}=1000$ А и более допускают длительную работу при выходе из строя одного тиристора в плече, при выходе из строя второго тиристора в том же плече агрегат аварийно отключается. В агрегатах серии ТВ(Р) при нарушениях в работе в первичном контуре теплообменника допускается работа агрегата в течение 5 мин без снижения нагрузки.

Электроприводы и преобразовательные агрегаты сохраняют свои номинальные параметры при изменении напряжения питающей сети 380 В на ± 10 или ± 15 % и питающей сети 6 или 10 кВ на ± 10 %. Изменение частоты питающей сети ± 1 Гц. Дополнительные требования накладываются на степень искажения кривой напряжения, используемого в качестве опорного для систем импульсно-фазового управления (СИФУ). Коммутационные провалы в этой кривой не должны иметь длительность более 40° , и площадь их не должна превышать $400\% \times \text{град}$.

Коэффициент полезного действия электроприводов без учета потерь в двигателе составляет в зависимости от мощности 0,9—0,97 (большие значения относятся к большей мощности), причем при $I_{\text{ном}}=500$ А и более и при $U_{\text{ном}}=440$ В и более КПД составляет не менее 0,95. Коэффициент мощности составляет 0,82—0,85.

Комплектные электроприводы серий КТЭУ, ЭКТ, КТЭ снабжены тиристорными возбудителями (ТПВ), номинальный ток которых находится в определенном соответствии с номинальным током электропривода. Данные этого соответствия приведены в табл. 1.7.

Условия эксплуатации электроприводов следующие.

Электроприводы предназначены для эксплуатации в районах с умеренным и холодным климатом (исполнение УХЛ4) при температуре от 1 до 40°C . Относительная влажность не более 80 % при температуре 20°C . Высота над уровнем моря не должна превышать 1000 м. Электроприводы в общеклиматическом исполнении О4 предназначены для работы при температуре от 1 до 45°C .

Электроприводы предназначены для работы в закрытых стационарных помещениях при отсутствии непосредственного воздействия солнечной радиации; окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию, ненасыщенная токопроводящей пылью и водяными парами; содержание нетокопроводящей пыли не более $0,7 \text{ мг/м}^3$. В части воздействия механических факторов электроприводы соответствуют группе условий эксплуатации М2 по ГОСТ 17516-72.

Электроприводы имеют следующие виды защит:

от выхода из строя тиристоров при внешних и внутренних коротких замыканиях, открывании тиристора в неработающей группе, опрокидывании инвертора;

Таблица 1.7

$I_{\text{НОМ}}, \text{ А}$	25	50	100	200	320	500	800	1000	1600
$I_{\text{В, ном}}, \text{ А}$ (серия КТЭУ)	5*		10*		5, 10, 20**		5, 10, 20, 30**		
$I_{\text{В, ном}}, \text{ А}$ (серия КТЭ)	5*4			16*4				50	
$I_{\text{НОМ}}, \text{ кА}$	1,6—4	2,5		4	5	6,3	8	10	12,5
$I_{\text{В, ном}}, \text{ А}$ (серия КТЭУ)	50— 100**	100, 200, 320***		100, 200, 320, 500***			200, 320, 500***		

* Возбуждение нерегулируемое, напряжение 200 В.

** По указанию в заказе, серия КТЭУ мощностью до 2000 кВт.

*** По указанию в заказе, серия КТЭУ мощностью 1000—12 000 кВт.

*4 Номинальное напряжение 230 В.

Примечание. Номинальное напряжение ТПВ 460 В, кроме отмеченных*4.

от перенапряжений на тиристорах;
от аварийной перегрузки тиристоров;
от развития аварийных процессов при исчезновении напряжения собственных нужд и силового напряжения;
от недопустимой продолжительности работы при исчезновении принудительной вентиляции (где она применяется);
от снижения тока возбуждения двигателя ниже допустимого;
от превышения допустимого тока возбуждения;
от переапряжения на якоре двигателя;
от превышения скорости двигателя;
от неправильного порядка сборки схемы;
от перегрузки двигателя, превышающей заданную в течение определенного времени (до 20 с) или защиту по среднеквадратичному току;
от аварийных режимов маслонаполненного трансформатора (если он применяется);
от включения ТП на вращающийся двигатель или при напряжении на выходе ТП, не равном нулю;
от нарушения изоляции элементов силовой цепи.

При всех видах защит обеспечивается определенная селективность защит, не допускающая перегорания предохранителя или тиристора, если данная авария может быть отключена автоматическим выключателем или сеточной защитой ТП, переводящей импульсы управления в инвертор.

Для облегчения эксплуатации и поиска неисправностей электроприводы снабжены аварийной и предупреждающей сигнализацией. Аварийные и предупреждающие сигналы запоминаются с выдачей их на световую индикацию и во внешней цепи.

Возникающие при работе электроприводов радиопомехи не превышают следующих значений:

Частота, МГц	Радиопомехи, дБ
0,15—0,5	80
0,5—2,5	74
2,5—30	66

Уровень шума (звукового давления), создаваемого электроприводом на расстоянии 1 м от его наружного контура, не превышает 85 дБ (по шкале А).

Срок службы электропривода составляет 15—20 лет, наработка на отказ в течение времени двухлетней гарантийной работы — 4000—6500 ч.

Важной характеристикой электроприводов являются технические данные СИФУ и системы управления электроприводом, которые будут рассмотрены в разд. 2 и 3.

Электроприводы типов ЭТУ3601, ЭТЗ, ЭТ6, ЭТРП, ЭПУ1, ЭПУ2, предназначенные для работы с высокомоментными двигателями, имеют несколько различные технические данные.

Электроприводы серии ЭТУ3601, номинальные данные которых указаны в типе (см. § 1.1), допускают перегрузку по току не менее $6I_{\text{ном}}$ в течение 0,2 с. Они предназначены для питания от сети с колебаниями напряжения от -15 до $+10$ % номинального значения, причем коммутационные провалы в кривой напряжения не должны превышать 10 % амплитудного значения и угловой длительности до 10° . Электроприводы имеют следующие защиты: максимальную токовую, от превышения температуры двигателя при перегрузках, от понижения напряжения сети, от перенапряжений.

Исполнения электроприводов серии ЭТ6 приведены в табл. 1.8.

Напряжение питающей сети 380 В. Колебание напряжения питающей сети ± 10 %.

Электроприводы серии ЭТРП выполняются на номинальное напряжение 220 или 440 В и рассчитываются на питание электродвигателей мощностью от 2 до 30 кВт (при $U_{\text{ном}}=220$ В — до 15 кВт) при питании от трехфазной сети переменного тока частотой от 49 до 60 Гц. Электроприводы — реверсивные, причем реверс осуществляется за счет изменения направления тока возбуждения.

Электроприводы серии ЭТЗ — нереверсивные с обратной связью по скорости. Они предназначены для питания двигателей мощностью от 1,1 до 22 кВт при напряжении питающей сети 380 В. Колебание напряжения питающей сети ± 10 %. Электроприводы рассчитаны для работы в кратковременном, повторно-кратковременном и длительном режимах работы в соответствии с техническими данными двигателей, причем некоторые типы двигателей допускают перегрузку до $4 I_{\text{ном}}$ в течение 10 с. Тепловая защита двигателей осуществляется потребителем.

При установке рассматриваемых электроприводов в шкафы температура окружающей среды для них повышена до 45°C .

Электроприводы серии ЭПУ1, номинальные данные тока, напряжения и питающей сети которых указаны в типе, для исполнения П допускают перегрузку по току $4-6 I_{\text{ном}}$ в течение 0,2 с, а для остальных исполнений — $2 I_{\text{ном}}$ в течение 2 с. Электроприводы имеют следующие защиты: от коротких замыканий, перегрузок по току, исчезновения охлаждения и напряжения сети, перенапряжений, обрыва цепи якоря та-

Таблица 1.8. Номинальные данные электроприводов серии ЭТ6

Тип электропривода	Электродвигатель			Частота вращения, об/мин	Мощность трансформатора, кВт·А
	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В		
ЭТ6-С-14	ПБ	0,75—5,5	52—117	1000	6, 11, 14, 19
ЭТ6-С-24			104—234	2000	
ЭТ6-С-13	ПГТ	1, 2, 4	60—110, 220	3000	6, 11
ЭТ6-Р-11	2ПБ	0,75—11	110, 220	750, 1000, 1500, 2200, 3000	6, 8, 11, 14, 19, 25
ЭТ6-Р-11	2ПФ	2—11			
ЭТ6-Р-11	2ПО	1,3—11			
ЭТ6-Р-12	ПБСТ	0,8—11,3	110, 220	1000, 1500	

хогенератора и тока возбуждения, неправильного чередования фаз питающей сети.

Электроприводы серии ЭПУ2, номинальные данные которых также указаны в типе, имеют рабочую перегрузку $4 I_{ном}$. Защита от токов короткого замыкания и длительных перегрузок осуществляется предохранителями.

1.3. Состав и функциональные схемы тиристорных электроприводов

В состав комплектного тиристорного электропривода входят: электродвигатель постоянного тока с тахогенератором и центробежным выключателем (при необходимости);

ТП для питания якоря электродвигателя, состоящий из силовых тиристоров с системой охлаждения, защитных предохранителей, разрядных и защитных RLC-цепей, СИФУ, устройств выделения аварийного режима, контроля предохранителей и защиты от перенапряжений;

ТП для питания обмотки возбуждения;
силовой трансформатор или анодный реактор;

коммутационная и защитная аппаратура в цепях постоянного и переменного тока (автоматические выключатели, линейные контакторы, рубильники);

сглаживающий реактор в цепи постоянного тока (при необходимости);

устройство динамического торможения (при необходимости);

шкаф высоковольтного ввода, используемый при подключении нескольких электроприводов к одному масляному выключателю;

система управления электроприводом (якорем и обмоткой возбуждения электродвигателя);

комплект аппаратов, приборов и устройств, обеспечивающих оперативное управление, контроль состояния и сигнализацию электропривода;

узлы питания обмотки возбуждения тахогенератора и электромеханического тормоза;

контрольно-испытательные стенды;

датчики, устанавливаемые на механизме, которые, как правило, не включаются в комплект поставки, так как их выбор и установка осуществляются предприятиями, изготавливающими механическую часть технологического агрегата, однако электропривод должен иметь возможность работы с этими датчиками. Командные, сигнальные и управляющие устройства, монтируемые на пульте управления, также не входят в комплект электропривода вследствие того, что пульты при каждой поставке разрабатываются заново.

На рис. 1.1 приведена функциональная схема реверсивного электропривода серии КТЭУ на ток до 200 А. Тиристорный преобразователь ТП, состоящий из двух встречно включенных мостов V_{SF} , V_{SB} , получает питание от сети 380 В через автоматический выключатель $QF1$ и анодный реактор LF (первый вариант) или трансформатор TM (второй вариант). На стороне постоянного тока защита осуществляется автоматическим выключателем $QF2$. Линейный контактор KM служит для частой коммутации якорной цепи (при необходимости), динамическое торможение электродвигателя M осуществляется через контактор KV и резистор RV . Отметим, что в первых поставках электроприводов цепь динамического торможения замыкалась через тиристоры. Трансформатор TI и диодный мост V служат для питания обмотки возбуждения двигателя LM . Тахогенератор BR возбуждается от отдельного узла $A-BR$; имеется также узел питания электромагнитного тормоза YB . Система управления $СУ$ по сигналам оператора с пульта управления $ПУ$, сигналам о состоянии коммутационных и защитных аппаратов, получаемым из узлов управления этими аппаратами и сигнализации $УУКиС$, сигналам из общей схемы управления технологическим агрегатом $СУТА$, сигналам о токе якоря двигателя и токе возбуждения, получаемым с шунтов $RS1$, $RS2$, сигналам о напряжении на якоре электродвигателя, снимаемым с потенциометра RPI , сигналам о скорости, формируемым тахогенератором BR , выдает сигналы управления в $СИФУ$, $УУКиС$ и на пульт управления $ПУ$. Узел управления коммутационной аппаратурой и сигнализации $УУКиС$ по командам оператора и сигналам от $СУ$ включает или выключает аппараты $QF1-QF3$, KM , KV , а также осуществляет сигнализацию о состоянии этих и других защитных аппаратов.

Сигналы задания и обратных связей в $СУ$ гальванически разделяются от внешних протяженных цепей или цепей с высоким потенциалом. Система управления $СУ$ через гальванические разделители выдает

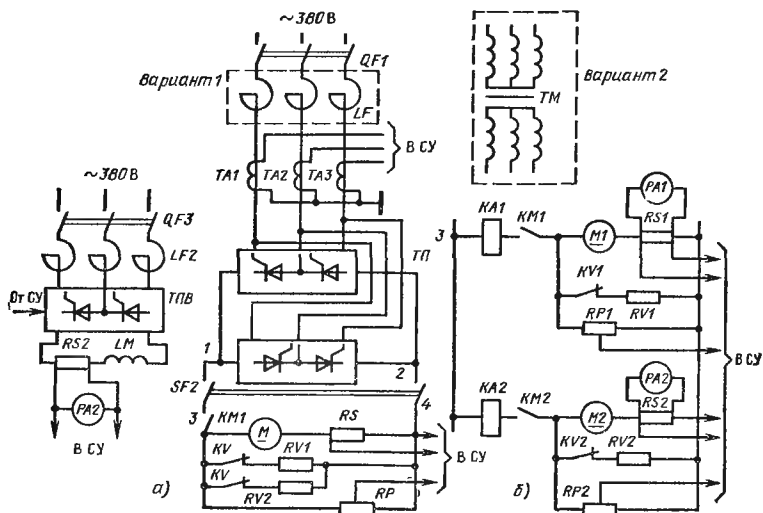


Рис. 1.2. Силовая часть электропривода серии КТЭУ однодвигательного (а) и двухдвигательного (б), $I_{\text{ном}}=320, 500$ А

в серии КТЭУ для возбуждения двигателей применены тиристорные возбудители ТПВ (нереверсивные при реверсивном якоре). Напряжение управления для СИФУ возбудителя вырабатывается в системе управления электроприводом СУ. В двухдвигательных электроприводах обмотки возбуждения двигателей соединяются параллельно.

Реле максимального тока $KA1, KA2$ воздействуют на отключение линейных контакторов $KM1, KM2$.

На рис. 1.3 приведена силовая часть электропривода с номинальными токами 800, 1000 А при напряжении 220, 440 В. Защитные автоматические выключатели $QF1, QF2$ установлены последовательно с тиристорами. Для неоперативного отключения электродвигателя от ТП используется рубильник QS. Силовой трансформатор TM подсоединяется к высоковольтной сети 6 или 10 кВ через шкаф высоковольтного ввода ШВВ. При напряжении питания 380 В ТП подключается к сети через анодные реакторы LF и автоматические выключатели $QF3, QF4$. В двухдвигательных электроприводах обмотки возбуждения обоих двигателей могут подключаться параллельно к одному возбудителю. При необходимости выравнивания токов якорей двигателей используются два отдельных возбудителя.

В серии ЭКТ применен отличный от КТЭУ подход к разработке и составу сложных электроприводов. В серии КТЭУ комплектный тиристорный электропривод с конкретной системой управления имеет всегда один и тот же состав и одну и ту же схему, разработанную для наиболее сложного варианта ее применения (определяемого технологией работы механизма). Этот подход обеспечивает сокращение сроков разработки

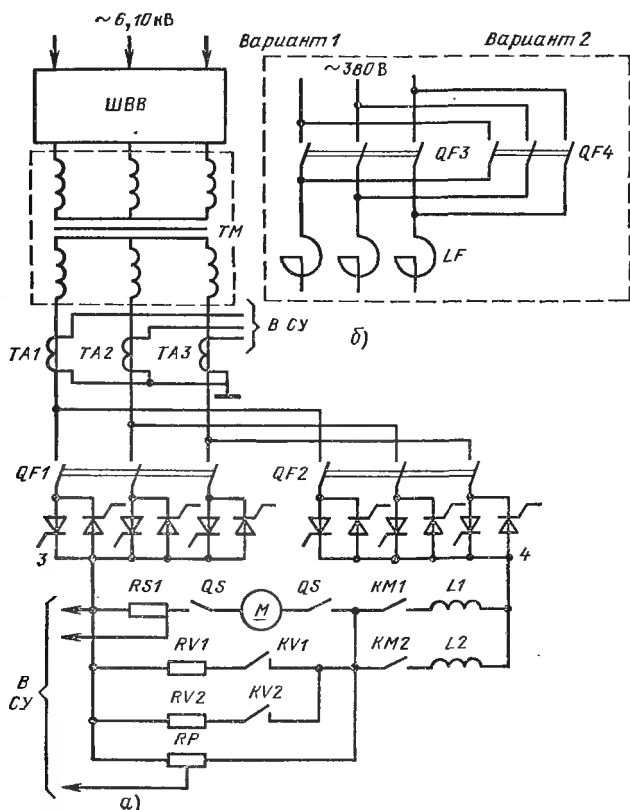


Рис. 1.3. Силовая часть однодвигательного электропривода серии КТЭУ, $I_{ном} = 800, 1000 \text{ А}$:

а — трансформаторный вариант; б — схема включения анодных реакторов

электроприводов, снижение при этом трудозатрат, однако очень часто в системе управления оказываются неиспользуемые элементы, приводящие к некоторому увеличению стоимости электропривода и, главное, снижающие его надежность. В серии ЭКТ разработан необходимый набор узлов и устройств, позволяющий реализовать все те же варианты систем управления, что и в электроприводах серии КТЭУ (на основе элементной базы УБСР-АИ, описанной в разд. 7), однако конкретный набор этих узлов и схема их соединений определяются заказчиком, которому также представляется возможность разработать другие варианты этих узлов. Для их размещения в составе электропривода предусматривается место для установки одного-двух блоков, а при необходимости разрабаты-

на рис. 1.5, но с тем отличием, что предохранители не устанавливаются. Для улучшения качества защиты используются максимально-токовые элементы FA геркоинного типа. Обмотка возбуждения питается от однофазного регулируемого возбудителя с оптотиристорами $V4-V7$. Для защиты обмотки возбуждения от перенапряжений используется варистор RV , а для защиты от сверхтоков — токовые реле KA .

На рис. 1.5 приведена силовая схема ЭКТ с $I_{ном}=800, 1000$ А, $U_{ном}=220, 440$ В. Подключение к питающей сети выполняется так, как это изображено на рис. 1.3. Блок датчиков контроля состояния тиристоров $БДС$ выдает логический сигнал в систему управления $СУ$, если все тиристоры выпрямителя находятся в непроводящем состоянии. Так как номинальный ток используемых в схеме автоматических выключателей не превосходит 630 А, то два полюса выключателей соединяются параллельно, причем при $U_{ном}=220$ В выключатель $SF2$ не устанавливается. Управляемый возбудитель трехфазный. В силовой части электроприводов с $I_{ном}=1600$ А, $U_{ном}=220, 440$ В по два тиристора в каждом плече выпрямительного моста включено параллельно, а в цепи нагрузки исполь-

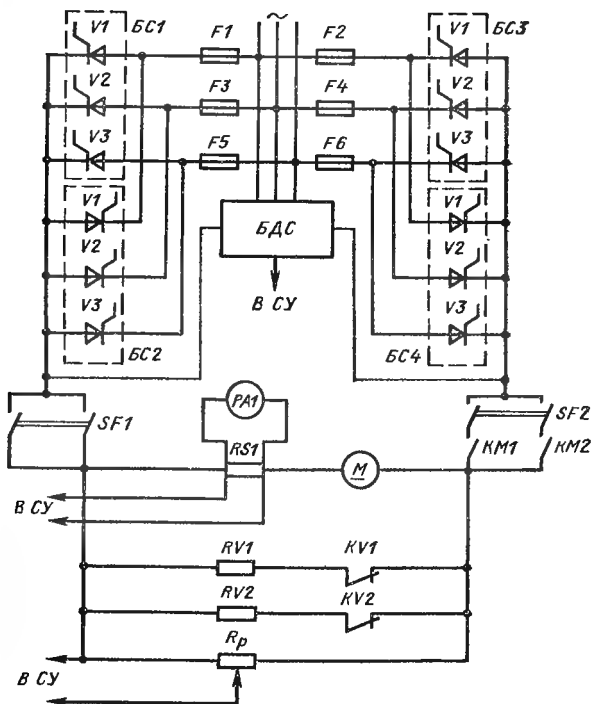


Рис. 1.5. Силовая схема электропривода серни ЭКТ, $I_{ном}=800, 1000$ А

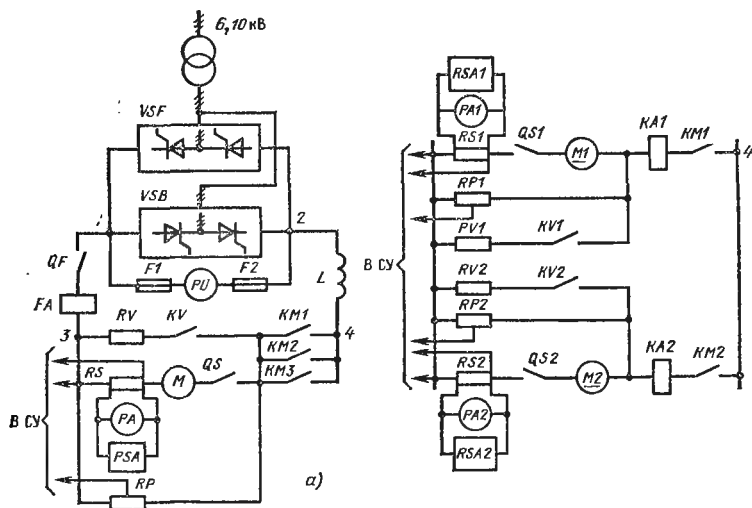


Рис. 1.6. Силловая часть электропривода серии КТЭУ однодвигательного (а) и двухдвигательного (б), мощность 1000—5000 кВт

зуются трехполюсные выключатели серии АЗ700, все полюсы которых соединяются параллельно. Силловая часть электроприводов серии ЭКТ большей мощности аналогична силовой части электроприводов серии КТЭУ.

На рис. 1.6 изображена силовая схема электропривода серий КТЭУ мощностью 1000—5000 кВт. Число линейных контакторов (КМ) определяется номинальным током электропривода (один контактор при $I_{\text{ном}}=2,5$ кА, два — при $I_{\text{ном}}=4$ и 5 кА, три — при $I_{\text{ном}}=6,3$ кА).

На рис. 1.7 приведена силовая схема реверсивного электропривода серии КТЭУ, преобразователя которого выполнены по 12-пульсной схеме. Выпрямители ТП1, ТП2 питаются от сдвинутых на 30° трехфазных напряжений, формируемых трансформаторами ТМ1, ТМ2. Параллельная работа ТП обеспечивается реакторами $L1, L2$.

Однополюсный выключатель $QF1$ устанавливается при $I_{\text{ном}}=5$ кА и менее; при $I_{\text{ном}}=6,3; 8; 10$ кА применяются двухполюсные выключатели $QF1, QF2$, при $I_{\text{ном}}=12,5$ кА — два двухполюсных.

На рис. 1.8 изображена силовая схема электропривода серии КТЭ с естественным охлаждением. Тиристоры в плече ТП включены встречно-параллельно. Тиристорный преобразователь подсоединяется к сети (узел А) либо через реакторы и автоматический выключатель (при $I_{\text{ном}} \leq 1000$ А и напряжении сети 380 В), либо через низковольтный трансформатор и автоматический выключатель (при $I_{\text{ном}} \leq 500$ А), либо через высоковольтный трансформатор и шкаф высоковольтного ввода — аналогично тому, как это показано на рис. 1.3, 1.4. Тиристоры $VS1, VS2$ замыкают цепь динамического торможения. Узел QF содержит от одного

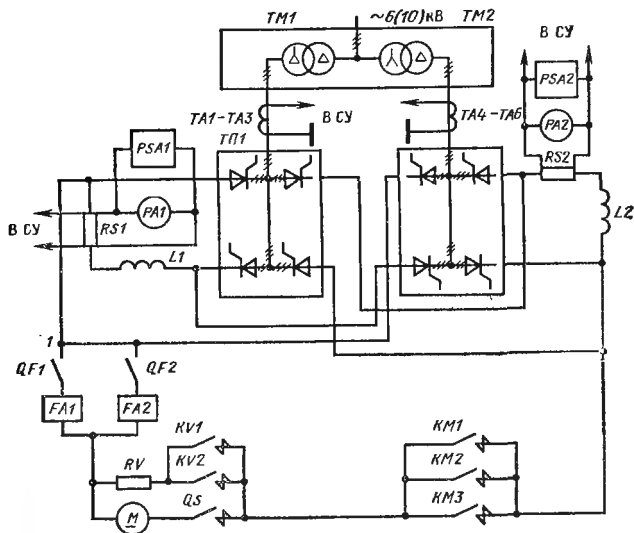


Рис. 1.7. Силовая часть реверсивного электропривода при 12-пульсной схеме выпрямления

двухполюсного до трех трехполюсных автоматических выключателей типа АЗ700 в зависимости от $I_{ном}$, $U_{ном}$ (см. разд. 2). Для защиты используется максимально-токовый элемент FA герконного типа. Сглаживающий реактор устанавливается при $I_{ном}=800$ А и более. Тиристорные возбудители на токи 5, 16 А выполняются по однофазной, а 50 А — трехфазной схемам выпрямления.

В состав тиристорных преобразовательных агрегатов обычно не включается коммутационная аппаратура цепи нагрузки (линейные контакторы, рубильники, контакторы или тиристоры динамического торможения вместе с резисторами), а также возбудители двигателя. Устройства $УУКиС$ и $СУ$ выполняются по упрощенным схемам или отсутствуют.

Схемы силовой части тиристорных преобразовательных агрегатов серии ТПП1 мало отличаются от схем серии КТЭУ мощностью 1000—12 000 кВт. В частности, силовая часть реверсивного агрегата с $I_{ном}=12,5$ кА выполняется по схеме рис. 1.7, но с тем отличием, что измерительные шунты устанавливаются в каждом выпрямителе, что позволяет упростить схему измерения тока. В состав агрегатов серии ТПП1 включаются регулятор тока вместе с датчиками тока, потенциальный разделитель для напряжения задания тока, узлы защиты и сигнализации тиристорного агрегата, СИФУ, узлы управления автоматическими выключателями. По заказу завод-изготовитель комплектует преобразовательные агрегаты тиристорными возбудителями и шкафами регулирования и управления, которые, однако, не являются органической принадлежностью агрегата, как это имеет место в комплектных тиристорных электроприводах.

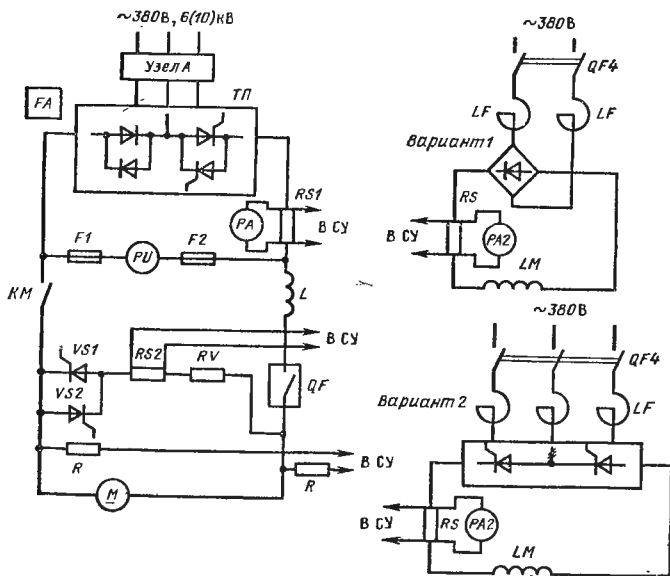


Рис. 1.8. Силовая часть электропривода серии КТЭ

Тиристорные преобразовательные агрегаты серии ТЕ(Р) кроме устройств, являющихся их неотъемлемой частью, включают в себя шкаф автоматического регулирования (ШАР), в который поступают сигналы задания и обратных связей и из которого выдается напряжение, определяющее угол отпирания тиристоров.

Силовая схема реверсивного преобразовательного агрегата серии ТВР с разными номинальными токами выпрямительных мостов показана на рис. 1.9. Он состоит из реверсивной секции ТП1 и нереверсивной секции ТП2. В комплект поставки входят шкафы управления и регулирования, разрабатываемые по заданию проектных организаций.

В состав электроприводов, предназначенных для станков, включают электродвигатель со встроенным тахогенератором, ТП с СИФУ, системы управления и регулирования, автоматический выключатель, трансформатор питания, сглаживающий реактор. На рис. 1.10 приведена функциональная схема электропривода серии ЭТУ3601. Его особенностью является отсутствие коммутационных аппаратов в цепи нагрузки. Применяемые в этих электроприводах высокомоментные двигатели имеют малую собственную индуктивность, поэтому для улучшения их использования в якорь двигателя включается индуктивность L . Система управления работает либо от задатчика скорости RV , устанавливаемого на механизме, либо от системы числового программного управления (ЧПУ). Контакты «Вперед» $KF1$, $KF2$ или «Назад» $KB1$, $KB2$ задают направление вращения. Контакты $KB2$, $KF2$ служат также для обеспечения надежной стоянки двигателя. Лампа HI сигнализирует о срабатывании

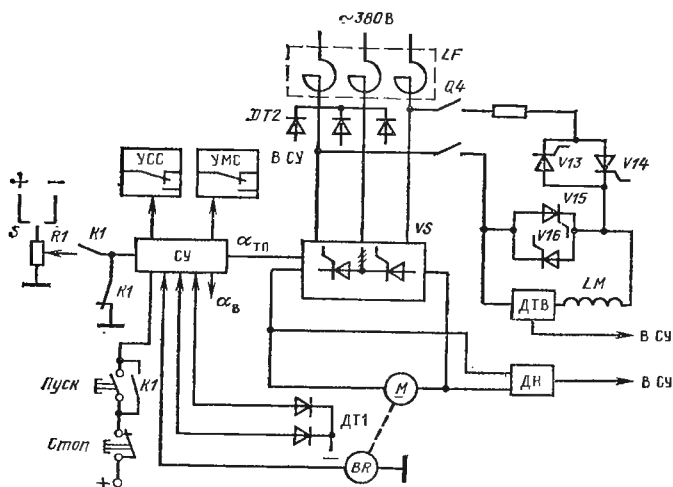


Рис. 1.13. Функциональная схема электропривода серии ЭТРП

На стороне переменного тока необходимо установить автоматический выключатель с номинальным током, равным 1,2—1,5 номинального тока двигателя с тепловым и максимальным расцепителями (в комплект поставки автоматический выключатель не входит).

Система управления содержит регулятор скорости и подчиненный ему регулятор тока. Система управления формирует импульсы управления якорным ТП $\alpha_{ТП}$ и возбудителем α_B . Датчик тока якоря ДТ1 выполнен с применением магнитоидов. Задающее напряжение для регулятора скорости снимается с потенциометра $R1$. Для реверсирования двигателя используется переключатель полярности S (в поставку электропривода не входит). Возможна также работа электропривода в режиме позиционирования. В этом случае питание $R1$ осуществляется выходным сигналом узла позиционирования.

Для связи с другими устройствами станка служат узлы согласования скорости УСС и малой скорости УМС с релейным выходом. Узел УСС срабатывает при больших рассогласованиях между заданной и фактической частотами вращения и служит обычно для отключения электропривода подачи, а узел УМС срабатывает при частоте вращения выше некоторой минимальной, при которой разрешена работа узла позиционирования.

Система управления включает в себя также устройство защиты от неправильного чередования фаз, пропадания фазы питающей сети, исчезновения питающего напряжения постоянного тока, от превышения температуры электродвигателя и силовой части ТП, при обрыве цепей тахогенератора, от коротких замыканий в цепи нагрузки. Последняя защита реализована с помощью магнитоидов ДТ2.

По сравнению с электроприводами серии ЭТУ3601 электроприводы серии ЭПУ1 имеют больше модификаций. Они выполняются реверсивны-

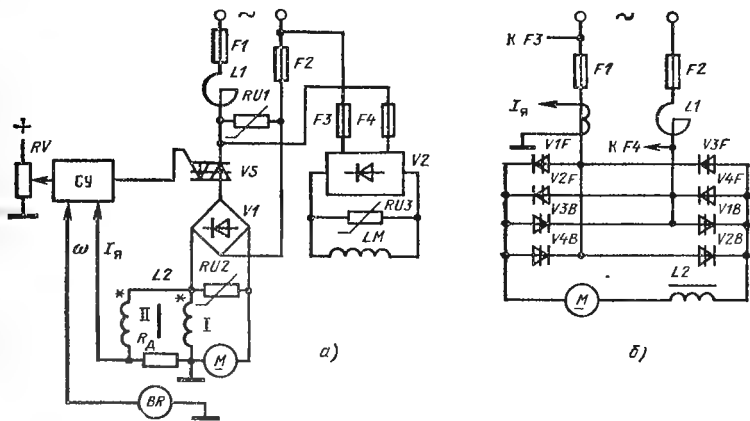


Рис. 1.14. Функциональная схема электропривода серии ЭПУ2

ми и неперверсивными, с обратной связью по скорости или ЭДС, одно- и двухзонными, по функциональному назначению предназначены для приводов подач и главного движения (см. типобразование в § 1.2). Соответственно различаются и составы электроприводов. По функциональной схеме рис. 1.10 выполняются электроприводы подач с тем отличием, что неуправляемый возбудитель VS может питаться от отдельной обмотки силового трансформатора TM . В состав остальных модификаций электроприводов для питания обмотки возбуждения двигателя включается управляемый однофазный возбудитель, подключаемый к сети через реактор; подключение к сети якорного преобразователя может выполняться через реактор или трансформатор.

Электроприводы серии ЭПУ2 являются однофазными. На рис. 1.14, а изображена схема нереверсивного привода. Выпрямление напряжения сети осуществляется по однофазной мостовой схеме $V1$, а регулирование выпрямленного напряжения — симистором VS . Для получения сигнала обратной связи по току сглаживающий реактор $L2$ выполняется с дополнительной (измерительной) обмоткой II , число витков которой равно числу витков главной обмотки, но сечение проводников значительно меньше. Падение напряжения на добавочном резисторе R_d пропорционально току нагрузки I_n . Питание обмотки возбуждения осуществляется от выпрямителя $V2$. Для защиты от коротких замыканий установлены предохранители $F1—F4$, а от перенапряжений — варисторы $RU_1—RU_3$.

Вентильная часть реверсивных электроприводов этой серии выполнена на основе оптронных тиристоров (рис. 1.14, б), а для измерения тока устанавливают трансформатор тока $ТТ$.

1.4. Компоновка и конструкция электроприводов

1.4.1. Общие сведения

Компоновка. Различают две разновидности компоновки функциональных модулей в электроприводах: моноблочную, функционально-модульную.

Моноблочная компоновка — это такая компоновка, при которой все основные элементы электроприводов (трансформатор или реактор, силовая часть, коммутационная, сигнальная и защитная аппаратура, аппаратура регулирования) размещаются в одном шкафу или на одном щите, представляющем собой единое конструктивное целое.

Функционально-модульная компоновка — это компоновка, при которой все основные элементы электроприводов представляют собой функционально законченные модули, каждый из которых является отдельным конструктивным целым.

Электроприводы, построенные по этому принципу, могут компоноваться двояко:

1) функциональные модули (трансформатор, вентильный шкаф или секция, шкафы управления, регулирования, силовые) устанавливаются вплотную друг к другу, сочленяются между собой механически и электрически и представляют собой единый конструктивный комплекс. Эта разновидность компоновки называется **комплектной (совмещенной)**;

2) функциональные модули монтируются непосредственно на объекте (в местах, для них предусмотренных), являются мобильными в случае необходимого демонтажа и установки в новом месте и соединяются между собой с помощью магистральных шинных трасс. Эта разновидность компоновки называется **свободной**.

В моноблочном варианте изготавливаются электроприводы малой мощности (до 100 кВт), так как тепловой режим маломощных элементов агрегата позволяет разместить их в одном шкафу и таким образом создать компактную, удобную в эксплуатации конструкцию.

При изготовлении электроприводов большей мощности, как правило, применяются функционально-модульную компоновку.

Конструкция. Элементы электроприводов (за исключением станочных) размещаются в шкафах. При постоянной высоте шкафов (оболочек) их размеры по глубине и фронту разнятся в зависимости от функционального назначения каждого шкафа и скомпонованной в нем аппаратуры, размещенной с учетом соблюдения электрических расстояний между частями, находящимися под различным потенциалом (и от них до заземленных частей), создания надлежащих тепловых и динамических условий для работы аппаратуры и электрооборудования, удобства монтажа и обслуживания.

На дверях шкафов при функциональной необходимости устанавливаются органы управления и контроля и информативные элементы, а также стекла — в случае установки в шкафу блоков систем регулирования, управления и защиты с измерительными приборами и элементами световой сигнализации.

Собственно металлический шкаф является оболочкой каждого функционального модуля, комплектующего электропривод (кроме тех моду-

лей, у которых оболочка является специфичной, — защищенные трансформаторы, реакторы и т. д.).

Щитовая металлоконструкция состоит из нескольких состыкованных между собой шкафов сборной конструкции и является базовым конструктивом повышенной монтажной готовности по сравнению с единичными шкафами.

Основным несущим модулем щита является сборка корпусов одиночных шкафов. Корпуса шкафов скреплены между собой. Боковые плоскости корпусов крайних шкафов закрыты металлическими крышками.

Шафы выполняются с учетом одно- и двустороннего обслуживания электроприводов. Двери шкафов (там, где они предусмотрены) снабжены замками, запирающимися на ключ, что предотвращает возможность попадания внутрь шкафов, в зоны высокого потенциала необученного персонала или случайных лиц.

Шафы щитов управления и силовых щитов снабжены съемными днищами, вынимаемыми вверх. В днищах предусмотрены проемы, расположенные на общей продольной оси, для выводов кабелей, шии и подвода воздуха.

Шафы, входящие в состав электропривода, при исполнении в виде единого конструктивного целого, а также отдельные сборки шкафов, входящие в состав электроприводов при свободной компоновке, располагают в одной плоскости с фасада и допускают установку рядом друг с другом без зазоров.

В качестве опорной конструкции сборки шкафов имеют жесткие опорные рамы из прокатных или гнутых профилей (швеллеров на ребро), позволяющие установить шкафы на кабельные каналы, при этом опорные части опорных рам опираются на края каналов и несут всю нагрузку от веса шкафа с оборудованием. Поперечные части рамы, висящие над каналом, держат вес оборудования и рассчитаны на этот вес.

В шкафах, в которых требуется подключение приборов и паяльников, установлены розетки на напряжение 220 и 42 В. Подключение розеток осуществлено до автоматического выключателя через предохранители и трансформатор.

Там, где это функционально целесообразно, шкафы имеют внутреннее электрическое освещение.

Шафы электропривода заземлены в соответствии с требованиями ПУЭ при помощи элементов, предусмотренных в составе шкафов.

Все элементы систем управления и регулирования размещаются в легкоъемных блоках, имеющих унифицированную конструкцию.

Электроприводы поставляются заказчику транспортными секциями, каждая длиной не более 4 м и весом не более 4 т. Каждая транспортная секция электропривода окрашена в общий для данного электропривода цвет. Все электрические соединения в пределах транспортной секции выполняются на заводе-изготовителе.

Клеммники цепей управления электроприводов отделены от клеммников ввода. Клеммники расположены на высоте, позволяющей изогнуть и разделять кабель на объекте в пределах половины глубины шкафа, но не менее чем на 300 мм от уровня пола. Места для кабельных разделок располагаются в пределах шкафов.

Степень защиты всех электроприводов, имеющих шкафовое исполнение, не менее IP21 по ГОСТ 14254-80, кроме мест выхода силовой оши-

новки, вентилятора и ящиков резисторов динамического торможения (если они установлены на шкафах), где степень защиты IP00.

На шкафах электроприводов большой мощности предусмотрены места для установки кронштейнов; поддерживающих внешнюю, подводимую сверху, ошиновку; внутри шкафов предусмотрены конструктивные элементы, обеспечивающие закрепление вводимых сверху внешних шин или кабелей.

Системы принудительного охлаждения выполняются или со встроенным вентилятором и с забором воздуха из окружающей среды, либо через жалюзи, либо через патрубок в днище шкафа, или с охлаждением от централизованной системы охлаждения.

1.4.2. Электроприводы серий КТЭУ мощностью 10—12 000 кВт и ЭКТ

Общие сведения. Электроприводы с номинальным током до 200 А имеют естественное воздушное охлаждение, остальные электроприводы — принудительное воздушное.

Элементы силовой вентиляльной части, систем регулирования и управления, защитная и коммутационная аппаратура, устройства оперативного управления и сигнализации всех электроприводов размещены в металлических шкафах (оболочках) двустороннего обслуживания глубиной 800 мм. При высоте собственно оболочек 2200 мм высоты отдельных функциональных модулей электроприводов разнятся, так как на ряде шкафов сверху установлены конструктивные узлы и аппараты тех или иных модулей.

При принудительном охлаждении в случае забора воздуха через отверстия в дне шкафа и при подаче воздуха от централизованной системы вентиляции комплектно поставляется мягкий соединительный рукав, сочлененный либо с днищем, либо с патрубком шкафа. Управление двигателем вентилятора предусмотрено со шкафа. Частота вращения вентилятора — не более 1500 об/мин.

Между транспортными секциями, подлежащими сочленению на месте эксплуатации в единое целое, а также в тех исполнениях секций, в которых сухой трансформатор и сглаживающий реактор устанавливаются вместе с остальными элементами электропривода, все соединения между трансформатором, реактором и транспортными секциями выполняются на месте монтажа с помощью монтажных элементов и элементов электрических соединений, поставляемых предприятием-изготовителем комплектно с электроприводом.

Клеммники ввода собственных нужд установлены отдельно и допускают присоединение двух алюминиевых проводов сечением до 16 мм² каждый. Втычные соединения имеют фиксаторы, исключающие ослабление контактных соединений от вибрации.

Электроприводы снабжены приборами для измерения выпрямленного тока, выпрямленного напряжения и тока возбуждения. В электроприводах на 600 В и более приборы могут подключаться через устройства, осуществляющие потенциальную развязку. Цепи и узлы, находящиеся под потенциалом выше 500 В, выделены и защищены от случайного прикосновения.

В электроприводах предусмотрена возможность быстрого обнаруже-

ния вышедшего из строя узла с помощью индикаторных устройств и контрольных гнезд и постановкой контрольной задачи.

Щиты силовые, комплектующие электроприводы КТЭУ, представляют собой функциональные модули, предназначенные для коммутации силовой цепи, а также для защиты в аварийных режимах и, при необходимости, для аварийного динамического торможения электропривода. Щит может состоять из одной или нескольких транспортных секций длиной до 4 м каждая. Щиты комплектуют следующими функциональными шкафами:

1) щит без линейного контактора и динамического торможения — шкафом с автоматическим выключателем типа ВАТ-42 и шкафом с рубильником и силовой ошиновкой;

2) щит без линейного контактора с динамическим торможением — шкафом с автоматическим выключателем типа ВАТ-42, шкафом с рубильником, контактором динамического торможения типа КП-7 и силовой ошиновкой и щитом динамического торможения с резисторами;

3) щит с линейным контактором и динамическим торможением — шкафом с автоматическим выключателем типа ВАТ-42, шкафом с рубильником, контактором динамического торможения типа КП-7, линейным контактором типа КП-207 и силовой ошиновкой и щитом с резисторами динамического торможения.

Шкафы с автоматическими выключателями на токи 2000, 4000, 6300 и 10 000 А отличаются только габаритными размерами. Внутри шкафа для локализации дуги и ионизированных газов и защиты аппаратуры установлены экраны — металлический и изоляционный. Внутри шкафа находятся блоки управления ИДП, рейки зажимов, аппаратура вторичной коммутации, ошиновка.

Ввод к силовым токоведущим частям шкафов с автоматическими выключателями и силовых шкафов как снизу, так и сверху шкафов.

Щиты с резисторами динамического торможения комплектуются ящиками сопротивлений типа ЯС-4 в количестве 18, 24, 36, 48.

Конструкция. Тиристорные электроприводы с номинальным током до 500 А включительно представляют собой шкаф или сборку шкафов (щит), содержащий ТП для питания цепей якоря и возбуждения, коммутационную и защитную аппаратуру силовых цепей, системы управления и регулирования, устройства оперативного управления и сигнализации, узлы питания обмотки возбуждения тахогенератора и электромеханического тормоза, силовой трансформатор или анодный реактор, причем трансформатор в электроприводе с номинальными данными $U_{ном} = 440$ В, $I_{ном} = 500$ А устанавливается вне шкафов. Сглаживающий реактор типа ФРОС-250 (320 А, 4,2 мГн) или ФРОС-500 (500 А, 3,26 мГн) поставляется только по указанию в заказе и устанавливается в отдельном шкафу с размерами $1000 \times 800 \times 2245$ мм. Все шкафы имеют высоту 2245 мм, кроме тиристорного шкафа при $I_{ном} = 320$ и 500 А, у которого сверху установлен вентилятор системы охлаждения (высота тиристорного шкафа 2750 мм). Глубина всех шкафов 800 мм. Количество шкафов в щите электропривода и, следовательно, длина по фронту зависят от номинальных данных электропривода, схемы силовой части и вида системы регулирования. Длина, мм, шкафов по фронту для наиболее массовых электроприводов с регуляторами скорости составляет:

При $I_{\text{ном}} \leq 200$ А, реакторное исполнение	800
При $I_{\text{ном}} \leq 200$ А, трансформаторное исполнение	1800
При $I_{\text{ном}} = 320$ и 500 А, реакторное исполнение	2200
При $I_{\text{ном}} = 320$ и 500 А, трансформаторное исполнение	3400

Электроприводы с $I_{\text{ном}} = 800$ и 1000 А при $U_{\text{ном}} = 220$ и 440 В представляют собой сборку шкафов (щит) глубиной 800 мм, содержащих указанную выше аппаратуру (включая сглаживающий реактор).

Высота шкафов тиристорного и с дополнительной аппаратурой 2750 мм (сверху шкафов установлены соответственно вентилятор системы охлаждения и резисторы динамического торможения), остальных шкафов 2245 мм. В трансформаторном исполнении со щитом соединяется силовой трансформатор серии ТСЗП, подсоединяемый к сети через шкаф высоковольтного ввода, а в реакторном исполнении — шкаф с анодным реактором серии РТСТ. Длина по фронту исполнения с линейным контактором и динамическим торможением в трансформаторном варианте 7270 мм, в реакторном 4600 мм.

Электроприводы с $I_{\text{ном}} = 800$ А при $U_{\text{ном}} = 600$ В, с $I_{\text{ном}} = 1000$ А при $U_{\text{ном}} = 600$ и 750 В, с $I_{\text{ном}} = 1600$ А и выше на все напряжения состоят из следующих конструктивных единиц:

вентильный щит, содержащий тиристорные шкафы, комплект аппаратов, приборов и устройств, обеспечивающих оперативное управление, контроль состояния, защиту от перегрузки по току и от перенапряжения и сигнализацию; системы управления и регулирования электропривода, регулируемого питания обмотки возбуждения электродвигателя; узел обмотки питания возбуждения тахогенератора; устройство питания электромеханического тормоза;

сборка щитов (щит силовой), содержащая коммутирующую и защитную аппаратуру в цепях постоянного и переменного тока (кроме масляных выключателей); устройство динамического торможения (по заказу);

сглаживающий реактор типа СРОСЗ в защищенном исполнении; силовой трансформатор;

шкафы с защитной коммутационной аппаратурой двигателей и шкафы с возбудителями двигателей для многодвигательных электроприводов;

шкаф высоковольтного ввода.

Все электроприводы, выполненные в функционально-модульном варианте, выпускаются как комплектной, так и свободной компоновки. При комплектной компоновке все монтажные элементы и элементы электрических соединений между функциональными модулями поставляются вместе с электроприводами, при свободной компоновке они в объем поставки не входят.

На рис. 1.15 приведены габаритные размеры вентильного щита некоторых электроприводов этого отрезка.

При разработке серии ЭКТ приняты конструктивные решения, обеспечивающие снижение габаритных размеров и массы электроприводов. В частности, длина, мм, шкафов по фронту составляет:

При $I_{\text{ном}} \leq 200$ А, реакторное исполнение	600
При $I_{\text{ном}} \leq 200$ А, трансформаторное исполнение	1600
При $I_{\text{ном}} = 320, 500$ А, реакторное исполнение	1600

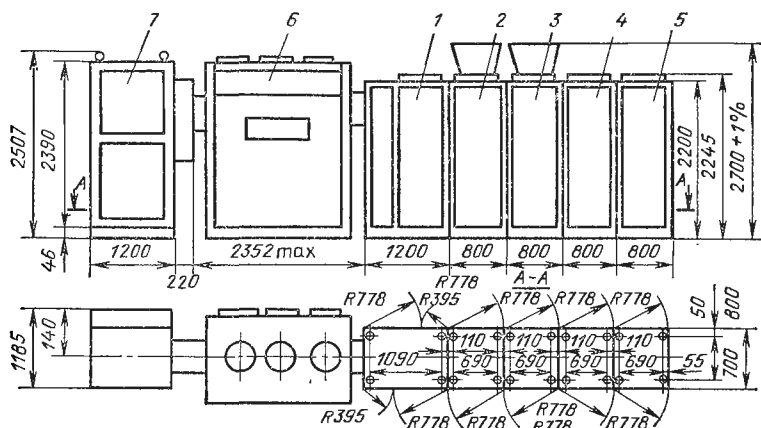


Рис. 1.15. Вентильный щит электропривода серии КТЭУ на токи 1600 и 2500 А (исполнения с сухими трансформаторами):

1 — шкаф с дополнительной аппаратурой; 2, 3 — вентильные шкафы (3 — только для реверсивных КТЭУ на ток 2500 А); 4, 5 — шкафы регулирования (5 — для электроприводов с регулятором мощности); 6 — трансформатор силовой типа ТСЗП; 7 — шкаф высоковольтного ввода ШВВ-5Л

При $I_{\text{ном}}=320, 500$ А, трансформаторное исполнение

2600

При $I_{\text{ном}}=800, 1000$ А, $U_{\text{ном}}=220$ В, трансформаторное исполнение

4875

При $I_{\text{ном}}=800, 1000$ А, $U_{\text{ном}}=440$ В, трансформаторное исполнение

4995

При $I_{\text{ном}}=800, 1000$ А, реакторное исполнение

2600

При $I_{\text{ном}}=1600$ А, $U_{\text{ном}}=220, 440$ В

От 5370 до 6259
(в зависимости от номинального напряжения и состава силовой аппаратуры)

На рис. 1.16 приведены габаритные размеры вентильного щита реверсивных электроприводов ЭКТ 1600/600, 750 и ЭКТ 2500/220, 440.

Электроприводы серии КТЭУ мощностью 1000—12 000 кВт представляют собой следующие конструктивные единицы:

вентильные секции (см. разд. 5);

щит управления, состоящий из комплекта аппаратов и устройств, обеспечивающих оперативное управление, контроль состояния, защиту и сигнализацию электропривода, СИФУ, системы управления и регулирования электропривода, регулируемого питания обмотки возбуждения электродвигателя, выполненных на ячейках серии УБСР-АИ, узлов вывода информации о состоянии электропривода и питания обмотки возбуждения тахогенератора, устройства гальванической развязки сигнала

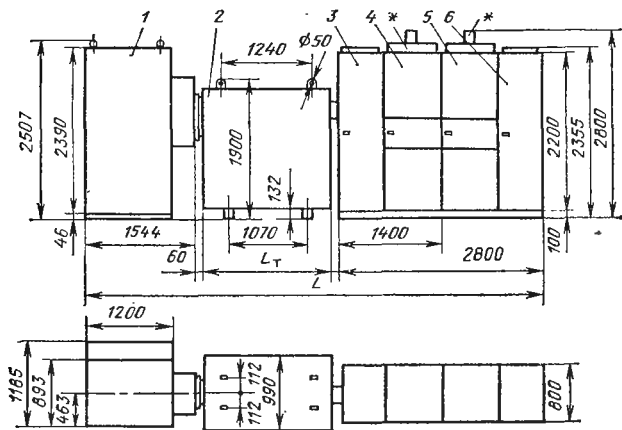


Рис. 1.16. Вентильный щит электропривода серии ЭКТ на токи 1600 А, 600, 750 В; 2500 А, 220, 440 В:

1 — шкаф высоковольтного ввода; 2 — трансформатор силовой ($L_T=1780$ или 2100 мм); 3 — шкаф ввода; 4, 5 — шкафы тиристорные (5 — только для тока 2500 А); 6 — шкаф управления

лов тока якоря, возбуждения, частоты вращения, напряжения якоря для дистанционной индикации;

щит силовой;

силовой трансформатор;

измерительные шунты и трансформаторы тока для реверсивных приводов (при совместной компоновке с сухими трансформаторами трансформаторы тока встраиваются в щиты электропривода);

сглаживающие реакторы в защищенном исполнении.

В состав многодвигательных электроприводов в комплект поставки, кроме того, входят шкафы с защитной коммутационной аппаратурой электродвигателей, а также при необходимости шкафы с возбудителями электродвигателей.

В варианте свободной компоновки изготавливаются все электроприводы, при этом каждый электропривод представляет собой комплект отдельных функциональных конструктивно законченных монтажных узлов, размещение которых на объекте определяется заказчиком. Допускается их расположение вплотную друг к другу. При свободной компоновке монтажные элементы и элементы электрических соединений между монтажными узлами в поставку предприятия-изготовителя не входят.

Монтаж силовых цепей и цепей вторичной коммутации внутри каждого узла выполняется предприятием-изготовителем.

В электроприводах на ток 12 500 А соединения между двумя щитами с быстродействующими выключателями выполняются заказчиком.

В варианте совместной (комплектной) компоновки выполняются электроприводы с 6-пульсной схемой выпрямления на токи 2500, 3200,

Выводы электроприводов обеспечивают присоединение алюминиевых шин.

На рис. 1.17 приведены габаритно-установочные размеры реверсивных и неревверсивных электроприводов с комплектной компоновкой. Трансформатор 12 для электропривода при $I_{ном}=6300$ А устанавливается отдельно.

1.4.3. Электроприводы серии КТЭ

Электроприводы на токи 50—200 А в зависимости от номинального тока КТЭ, числа питаемых двигателей, режима работы, вида связи с питающей сетью и системы регулирования конструктивно выполняются в одном или двух шкафах одностороннего обслуживания глубиной 800 мм и представляют собой единый конструктивный комплекс, максимальная высота которого 2750 мм.

Силовая часть представляет собой трехфазный мост в панельном исполнении, являющийся конструктивно законченным узлом с силовыми выводами, разъемами управляющих цепей, мнемосхемой с контрольными гнездами. Охлаждение силовой части — естественное.

Силовая часть и система регулирования выполнены в конструктивах БУК-б и расположены на поворотной раме с лицевой стороны шкафа. За поворотной рамой на задней стенке расположены клеммные рейки внешних соединений, элементы защиты от перенапряжений, дополнительные устройства. Индикаторная аппаратура и сигнальные приборы размещены на двери шкафа, защитная аппаратура и клеммники внешних цепей — внизу шкафа.

Анодные реакторы или силовые трансформаторы установлены внутри шкафов. Длина по фронту исполнения с линейным контактором — до 1000 мм.

Электроприводы на токи 320—1600 А в общем случае состоят из следующих функциональных модулей: шкаф силовой (ШС), шкаф управления (ШУ), шкаф с дополнительной аппаратурой (ШДА), шкаф с трансформаторами (ШТА), шкаф с реактором (ШР), трансформаторы.

Конструктивно КТЭ является единым конструктивным комплексом и представляет собой сборку шкафов, входящих в его состав, установленных вплотную друг к другу и сочлененных механически и электрически.

Межшкафные соединения главных цепей вторичной коммутации выполнены монтажными элементами в пределах КТЭ.

Охлаждение силовой части — естественное воздушное. В силовом шкафу находятся также блоки импульсных устройств, предохранителей, блок защиты от перенапряжений. Все блоки унифицированы в масштабе серии. Индикационная аппаратура и измерительные приборы расположены на двери шкафа.

Забор воздуха происходит через вентиляционные окна передних и задних дверей.

Системы импульсно-фазового управления, регулирования, защиты и сигнализации КТЭ расположены в шкафу управления ШУ с размерами 600×600×2200 мм. Конструктивно эти системы выполнены в унифицированных ячейках БУК-б, установленных в кассетах, размещенных на поворотной раме.

Внутри шкафа управления под поворотной рамой расположены автоматические выключатели включения питания собственных нужд.

В шкафу с дополнительной аппаратурой (ШДА), если он имеется, размещены источники питания систем возбуждения, тормоза, тахогенератора, автоматические выключатели главных цепей, блоки датчиков тока, выводные шины постоянного тока. Подвод к шинам возможен как сверху, так и снизу шкафа.

В шкафу с реактором (ШР) размещены сглаживающий реактор, автоматические выключатели главных цепей, источники питания систем возбуждения и торможения, выводные шины постоянного тока. Подвод к шинам возможен как сверху, так и снизу шкафа.

В шкаф с трансформатором встроен трансформатор ТСП для КТЭ на токи 320 и 500 А. Длина по фронту КТЭ с $I_{\text{ном}}=320, 500$ А с линейным контактором 2400 мм.

Конструкция силовых модулей, блоков, кассет управления, регулирования, защит, сигнализаций, ячеек предусматривает возможность обнаружения вышедшего из строя узла при помощи контрольных точек и гнезд.

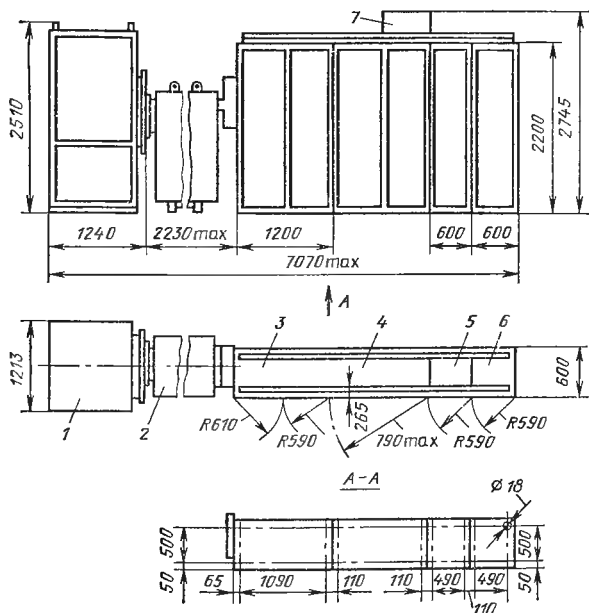


Рис. 1.18. Электроприводы серии КТЭ на токи 800 и 1000 А, напряжение 220, 440, 600 В, трансформаторное исполнение:

1 — шкаф высоковольтного ввода; 2 — трансформатор типа ТСП; 3 — шкаф силовой; 4 — шкаф с реактором и автоматическими выключателями; 5 — шкаф управления; 6 — шкаф регулирования (для электроприводов с регуляторами мощности); 7 — устройство динамического торможения

Конструкция электроприводов на токи 500, 800, 1000, 1600 А предусматривает возможность установки силового питающего трансформатора отдельно от остальных шкафов, сочлененных в единый конструктивный комплекс.

Конструкция электроприводов на токи до 1000 А предусматривает подсоединение силовой коммутации с питающей сетью и электродвигателем как медными, так и алюминиевыми кабелями с подводом как сверху, так и снизу шкафов.

На рис. 1.18 приведены габаритно-установочные размеры КТЭ на токи 800, 1000 А.

1.4.4. Тиристорные преобразователи для электроприводов

Тиристорные выпрямители серии ТПП1. Тиристорный выпрямитель представляет собой комплект электрически и конструктивно законченных функциональных модулей с высокой степенью заводской готовности. Выпрямители выполняются с комплектной (на токи до 6300 А) и свободной компоновками. Обслуживание — двустороннее.

При комплектной компоновке выпрямителя соединительные и защитные элементы силовых цепей вторичной коммутации между шкафами и реакторами поставляются в комплекте с выпрямителем. С выпрямителями, укомплектованными сухими трансформаторами серии ТСЗП, комплектно поставляются также и элементы силовых цепей между трансформаторами и вентильной секцией.

При свободной компоновке выпрямителя соединительные и защитные элементы силовых цепей между шкафами, секциями, трансформатором и реактором в комплект поставки не входят. Жгуты цепей вторичной коммутации между вентильными секциями и шкафами управления поставляются вместе с выпрямителем.

Выпрямители серии ТПП1 включают в себя следующие конструктивные единицы: силовой трансформатор; вентильную секцию, состоящую из шкафа ввода и силовых шкафов (количество вентильных секций определяется номинальным током выпрямителя); шкаф управления; шкаф с токоограничивающим выключателем; реактор в защищенном исполнении.

По требованию заказчика в комплект поставки также входят: шкаф высоковольтного ввода ШВВ-5Л-З, шкафы устройства динамического торможения, шкаф с линейным контактором, тиристорный возбудитель с системой управления.

В силовом шкафу вентильной секции расположен тиристорный мост, в каждом плече которого могут быть параллельно включены от четырех до семи тириستоров. Каждый тиристор защищен двумя параллельно работающими предохранителями. Конструктивно тиристоры моста установлены на групповом охладителе, одновременно выполняющем роль силовой шины и несущего конструктивного элемента.

Тиристорный блок включает в себя тиристор, два предохранителя и блок импульсного устройства. При установке в шкаф предохранители и импульсное устройство располагаются с фасада шкафа. На базе тиристорного блока выполнены как анодная, так и катодная группы вентильной секции. Охлаждение силовых шкафов — принудительное. Каждое плечо тиристорного моста отделено от двери вращающейся

изоляционной панелью с расположенными на ней жгутами для подключения тиристорных блоков.

С фасада на каркасе шкафа расположены два штепсельных разъема для жгутов, соединяющих силовой шкаф со шкафом управления.

В шкафу ввода вентильной секции размещены ошиновка переменного и постоянного тока, системы защиты от внешних перенапряжений (на базе варисторов) и от внутренних коммутационных перенапряжений (на базе RC-цепей), датчики закрытого состояния вентиля, датчики тока и напряжения, автоматические выключатели собственных нужд переменного и постоянного тока, разъемы цепей вторичной коммутации.

В шкафу с автоматическим выключателем расположены выключатель токоограничивающий типа ВАТ-42, аппараты управления выключателем, реле РДШ. Над дугогасительной камерой выключателя установлен экран, изолированный от каркаса.

В шкафу управления размещены элементы СИФУ, гальванической развязки, защиты и сигнализации, выходных каскадов, самопишущие приборы для непрерывной индикации характера изменения во времени тока нагрузки.

На лицевой стороне шкафов установлены рукоятки переключателей для управления выключателями силовых цепей, сигнальная арматура оперативных параметров и электроизмерительные приборы для измерения выпрямленного напряжения и тока, контроля изоляции.

Силовая часть и система управления конструктивно выполнены в виде выемных блоков, ячеек и кассет, которые имеют контрольные гнезда для измерения необходимых параметров систем выпрямителя.

Температура входящего охлаждающего воздуха — не более 40°C для исполнения УХЛ4. Перепад температуры охлаждающего воздуха — не более 20°C . Расход воздуха на один силовой шкаф — не менее $7000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Выводы силовых шин на токи до 5000 А выполнены из алюминиевого сплава АД31Т1, свыше 5000 А — из медных шин ПМТ (за исключением выводов шкафов с выключателями на токи 6300 , 8000 и $12\,500 \text{ А}$, выводы которых выполнены из сплава АД31Т1).

Шафы устройств динамического торможения и шкафы с линейным контактором являются конструктивно, монтажно и схемно законченными изделиями и обеспечивают возможность стыковки с выпрямителем.

В табл. 1.9 приведены габаритные размеры основных исполнений преобразовательных агрегатов серии ТПП1.

Агрегаты преобразовательные серий ТЕ, ТЕР. Конструктивно агрегаты состоят из следующих сборных единиц: ТП с СИФУ, системами защиты и сигнализации; шкафа автоматического управления и регулирования (ШАР); шкафа с выключателем быстродействующим (ШВБ) при номинальном токе 1000 А ; токоограничивающего реактора (при необходимости); силового трансформатора или анодного реактора; шкафа высоковольтного ввода (в электроприводах с $I_{\text{ном}}=800 \text{ А}$ и более).

В агрегатах при $I_{\text{ном}}=100 \text{ А}$ реактор (в реакторном варианте) или трансформатор (в трансформаторном варианте) встроены в ТП.

Тиристорные агрегаты на токи 100 , 200 , 320 , 500 А конструктивно выполняются как с аппаратурой коммутации, защиты и сигнализации, так и без нее.

Вентиляция ТП естественная, обслуживание двустороннее. Шкаф

Таблица 1.9. Габаритные размеры преобразовательных агрегатов серии ТПП1

$I_{\text{номВ}}/I_{\text{номН}}, \text{ А}$	$U_{\text{ном}}, \text{ В}$	Силовая схема	Длина по фронту, мм	Максимальная глубина, мм	Компоновка
1600/1600	660, 825	6-пульсная	5600	1000	Комплектная без трансформатора
2500/2500	460, 660, 825, 1050				
4000/4000	660, 825, 1050		5800	1000	
5000/5000 5000/2500	660, 825		6000	1200	
4000/4000	660, 825, 1050	То же	2200+2200+600	800	Свободная (секция вентильная, шкаф с автоматическим выключателем, шкаф управления)
5000/5000 5000/2500	660, 825				
5000/5000	825, 1050	12-пульсная	2400+2200+600	800	
6300/6300 8000/8000 10 000/10 000	825, 1050		(2×2400)+2200+600	800	
12 500/12 500	825, 1050		(2×4000)+4400+600	800	

Примечания: 1. $I_{\text{номВ}}, I_{\text{номН}}$ — номинальный ток соответственно групп «Вперед» и «Назад».

2. Запись вида 2200+2200+600 или (2×2400)+2200+600 означает, что преобразовательный агрегат размещен в трех или четырех шкафах.

ШАР включает в себя блоки и ячейки СИФУ и системы автоматического регулирования, выполненные в унифицированных конструктивах БУК-б, установленных на двух унифицированных поворотных рамах.

Агрегаты с водяным охлаждением вентильной части серий ТВ, ТВР. Конструктивно агрегаты состоят из следующих сборочных единиц: ТП с СИФУ, системами защиты и сигнализации; шкафа управления и регулирования (ШУР); шкафа защиты и сигнализации (ШЗС); быстродействующего выключателя(лей) типа ВАТ-42; уравнивающего или сглаживающего реактора типа ТРОС; силового трансформатора; теплообменника; подпиточного агрегата; блока защиты от перенапряжений по числу вентильных секций.

В шкаф ШУР входят блоки и ячейки СИФУ и системы регулирования, выполненные в унифицированных конструктивах БУК-б и размещенные в унифицированных поворотных рамах.

В шкафу защиты и сигнализации (ШЗС) расположена система защиты и сигнализации, выполненная в конструктивах БУК-б и установленная на унифицированной поворотной раме. Рама размещена в зоне задней двери шкафа. В зоне передней двери размещены поворотная

Т а б л и ц а 1.10. Габаритные размеры преобразовательных агрегатов серии ТВР

$I_{\text{номВ}}/I_{\text{номН}},$ А	$U_{\text{ном}},$ В	Силовая схема	Длина по фронту, мм	Макси- мальная глубина, мм	Состав
1600/1600	460, 660, 825	6-пуль- сная	2800	800	Секция вентиль- ная, шкаф за- щиты и сигнали- зации, шкаф управления и регулирования
2500/2500 3150/3150	460, 660, 825, 1050				
4000/4000	460, 660, 825, 1050				
5000/5000	660, 825, 1050				
4000/4000	460, 660, 825, 1050	12-пуль- сная	4200	800	То же
5000/5000 6300/6300	660, 825 1050				
8000/8000 10 000/10 000	825, 1050				
12 500/12 500	1050				
			7000	800	

См. примечания к табл. 1.9.

панель с элементами системы защиты и сигнализации, не вошедшими в комплект кассет БУК-6, и автоматические выключатели питания систем агрегата. Через остекленную дверь за панелью осуществляется визуальный контроль.

Агрегаты имеют водяное охлаждение с внутренним замкнутым циклом. Охлаждающая дистиллированная вода циркулирует по внутренним каналам радиаторов через соединительные трубопроводы и теплообменник типов ТВКФ-75 и ТВКФ-150, в которых она охлаждается проточной технической водой. Температура технической воды на входе в теплообменник — не более 33 °С, давление — не менее $196 \cdot 10^3$ Па. Теплообменники снабжены ионообменными фильтрами, что повышает изоляционные свойства дистиллированной воды. Возможно охлаждение ТП с применением групповых теплообменников.

В табл. 1.10 приведены габаритные размеры преобразовательных агрегатов серии ТВР.

Электроприводы для станков. В отличие от ранее рассмотренных серий электроприводы серий ЭТУ3601, ЭТРП, ЭТЗ, ЭТ6, ЭПУ1, ЭПУ2 представляют собой моноблочную открытую конструкцию, предназна-

Т а б л и ц а 1.11

Тип электропривода	Трансформатор, анодный реактор, автотрансформатор	Реактор на стороне постоянного тока	Блок преобразователя
ЭТУ3601	$\frac{297 \times 144 \times 273}{897 \times 430 \times 555}$	$\frac{85 \times 84 \times 105}{148 \times 160 \times 144}$	$400 \times 250 \times 175$ (280)
ЭТЗ*	—	$\frac{124 \times 112 \times 177}{170 \times 217 \times 203}$	$264 \times 373 \times 550$
ЭТ6	$\frac{400 \times 200 \times 345}{400 \times 290 \times 425}$	$\frac{129 \times 90 \times 130}{124 \times 157 \times 179}$	$400 \times 330 \times 200$
ЭТРП	570 × 260 × 95 (Реактор) 384 × 299 × 450** (Автотрансформатор)	—	$222 \times 310 \times 483$
ЭПУ1	$750 \times 610 \times 735$	$\frac{80 \times 113 \times 90}{160 \times 144 \times 148}$	$\frac{266 \times 160 \times 230}{1000 \times 400 \times 370}$
ЭПУ2	$\frac{145 \times 80 \times 95***}{195 \times 80 \times 185}$	$\frac{105 \times 125 \times 110}{196 \times 169 \times 204}$	$\frac{130 \times 161 \times 135}{200 \times 161 \times 170}$

* Габаритные размеры резистора динамического торможения для электропривода ЭТЗ 166 × 120 × 145 мм.

** Устанавливается в электроприводах с $U_{\text{ном}} = 220$ В.

*** Приведены габаритные размеры блока ввода с анодным реактором и предохранителями.

Примечание. В числителе дроби даны минимальные размеры, в знаменателе — максимальные.

ченную для встраивания в шкафы комплектных устройств и в ниши металлорежущих станков. Конструктивно законченный узел имеет клеммные зажимы для подсоединения внешних цепей. В состав моноблока входят тиристорный блок с цепями усиления и подачи управляющих импульсов, СИФУ, систем регулирования и защиты электропривода, источники питания цепей управления, цепи сигнализации и т. д. Габаритные размеры моноблоков различных серий электроприводов приведены в табл. 1.11. Силовой трансформатор, сглаживающий реактор, автоматический выключатель в состав моноблока не входят. Габаритные размеры трансформатора (анодного реактора, автотрансформатора для электропривода серии ЭТП), токоограничивающих и сглаживающих реакторов, резистора динамического торможения для электропривода серии ЭТЗ также приведены в табл. 1.11.

Раздел 2

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

2.1. Состав и функциональные схемы

Преобразовательная часть электропривода состоит из силовых тириستоров, число и схема соединения которых определяются параметрами электропривода и примененных тиристоров, системы их охлаждения, защитных *RC*-цепей, системы гальванического разделения и преобразования уровня управляющих импульсов, СИФУ, системы защиты и сигнализации. К преобразовательной части относят также сетевой трансформатор или анодный реактор, автоматические выключатели на стороне постоянного и переменного тока, сглаживающий реактор.

Сетевые трансформаторы по своим номинальным параметрам — напряжению и току — согласуются с номинальными параметрами электропривода. Типы и технические данные трансформаторов, применяемых в тиристорном электроприводе, см. в разд. 8. В табл. 2.1 приведены значения индуктивности (на фазу) анодных реакторов, применяемых в электроприводах серий КТЭУ, ЭКТ и КТЭ. Технические данные реакторов серии РТСТ даны в разд. 8.

Автоматические выключатели применяют для защиты ТП и электродвигателя в аварийных режимах. В основном используются автоматические выключатели серий АЗ700 и ВАТ-42, технические данные которых даны в разд. 6. Применяющиеся в электроприводах серий КТЭУ, КТЭ, ЭКТ автоматические выключатели серии АЗ700 приведены в табл. 2.2—2.4. В табл. 2.5 указаны данные о выключателях серии ВАТ-42, применяющихся в электроприводах серий КТЭУ, ЭКТ и ТП серии ТПП1, а в табл. 2.6 — в ТП серии ТВ (ТВР).

Назначение сглаживающих реакторов — уменьшать пульсации тока якоря электродвигателя, ухудшающие его коммутацию, зону прерывистых токов и скорость нарастания аварийного тока. Заказчику предоставляется возможность по согласованию с изготовителем комплектного электропривода применять реактор с необходимыми ему параметрами; при выполнении электропривода в виде единого конструктивного целого, встраивании реакторов в шкафы, а также если в заказе специально не

Т а б л и ц а 2.1. Технические данные реакторов РТСТ

Номинальный ток электропривода, А	Номинальное напряжение, В	Номинальный фазный ток, А	Индуктивность реактора на фазу, мГн
25	440	20,5	2,02
50	220 440	41	0,54 1,01
100	220 440	82	0,25 0,505
200	220 440	165	0,126 0,251
320	220 440	265	0,075 0,156
500	220 440	410	0,05 0,101
800	220 440	660	0,03 0,064
1000	220 440	820	0,025 0,05

Т а б л и ц а 2.2

Номинальный ток КТЭУ, КТЭ, А	Тип автоматического выключателя	
	на стороне переменного тока	на стороне постоянного тока
25 50 100	A3/16Б	A3715Б
200	A3716Б, A3726Б*	A3725Б
320	A3726Б	A3795П
500	A3796П	A3795П
800 1000	A3796П**	

* При напряжении 440 В.

** Установлены в плечах трехфазной мостовой схемы (2 шт.).

Таблица 2.3. Типы автоматических выключателей, применяющихся в электроприводах серии ЭКТ

Номинальный ток электропривода, А	На стороне переменного тока	На стороне постоянного тока
25, 50	AK63-3M	—
100	A3716Б	A3715Б
200	A3716Б A3726Б*	A3725Б
320	A3726Б	
500	A3796Н	A3795Н
800, 1000	—	A3795Н (1 шт.)** A3795Н (2 шт.)*
1600	—	A3796Н (1 шт.)* [*] A3796Н (2 шт.)*

* При напряжении 440 В.

** При напряжении 220 В, полюсы соединены параллельно.

Таблица 2.4. Схемы включения выключателей серии АЗ700 в электроприводах серии КТЭ на токи 800, 1000, 1600 А

$U_{\text{НОМ}}$, В	$I_{\text{НОМ}}$, А	
	800, 1000	1600
220		
440		

Продолжение табл. 2.4

$U_{\text{ном}}, \text{В}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	
	800, 1000	1600
600		

Таблица 2.5

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	Число выключателей
ВАТ-42-2000/6-Л-У4	1600	440*, 600	1
ВАТ-42-2000/10-Л-У4		750	1
ВАТ-42-4000/6-Л-У4	2500	440, 600	1
ВАТ-42-4000/10-Л-У4		750, 930	1
ВАТ-42-6300/6-Л-У4	4000	440, 600	1
ВАТ-42-6300/10-Л-У4		750, 930	1
ВАТ-42-6300/6-Л-У4	5000	600	1
ВАТ-42-6300/10-Л-У4		750, 930	1
ВАТ-42-10000/6-Л-У4	6300	600	1
ВАТ-42-10000/10-Л-У4		750, 930	1
ВАТ-42-10000/10-Л-У4	8000	750, 930	1
ВАТ-42-10000/10-Л-У4	10 000	750, 930	1
ВАТ-42-10000/10-Л-У4	12 500	750, 930	2

* Кроме серии ЭКТ.

Таблица 2.6

Тип выключателя	Схема выпрямления	Номинальный ток, А	Число выключателей
ВАТ-42-2000/10ЛА-У4	6-пульсная	1600	1
		2500	
ВАТ-42-4000/10ЛА-У4		3150	1
		4000	
ВАТ-42-6300/10ЛА-У4	12-пульсная	5000	1
ВАТ-42-2000/10ЛА-У4		4000	2
		5000	
ВАТ-42-4000/10ЛА-У4		6300	2
		8000	2
ВАТ-42-6300/10ЛА-У4		10 000	2
		12 500	4

Таблица 2.7. Данные сглаживающих реакторов
электроприводов серии КТЭУ мощностью до 2000 кВт

Электропривод		Реактор				Соединение реакторов
$I_{\text{ном}}, \text{ А}$	$U_{\text{ном}}, \text{ В}$	Тип	$I_{\text{ном}}, \text{ А}$	$L, \text{ мГн}$	Число	
800, 1000	220, 400	ФРОС125/0,5У3 (СРОСЗ-800М)	500 (1250)	0,75 (0,8)	2 (1)	Параллельное
1600	220	СРОСЗ-800М	1600	0,5	1	—
	440	СРОСЗ-1250М	2000	0,48	1	
	600	СРОСЗ-800М	1600	0,5	2 (1)	Последовательное
	750				2	
2500	220	СРОСЗ-1250М	2500	0,32	1	—
	440				1	
	600, 750				2	Последовательное
	930	СРОСЗ-3200М	3200	0,5	2	
3200	440, 600	СРОСЗ-3200М	3200	0,5	1	—
4000	440	СРОСЗ-4000М (СРОСЗ-2000М)	4000	0,4 (0,2)	1	—

Примечание. В скобках приведены данные электроприводов серии ЭКТ для случаев, когда они отличаются от данных электроприводов серии КТЭУ.

**Т а б л и ц а 2.8. Данные сглаживающих реакторов
электроприводов серии КТЭ**

Электропривод		Реактор			
$I_{\text{НОМ}}$, А	$U_{\text{НОМ}}$, В	Тип	$I_{\text{НОМ}}$, А	L , мГн	Число
500	660	ФРОС-125/0,5	500	0,75	1
800	440, 600	ФРОС-250/0,5	800	0,6	1
1000	440, 600	ФРОС-250/0,5	1000	0,35	1
1600	440, 600	ФРОС-250/0,5	800	0,6	2*

* Соединены параллельно.

**Т а б л и ц а 2.9. Данные сглаживающих реакторов
электроприводов серии КТЭУ мощностью 1000—12 000 кВт**

Электро- привод, $I_{\text{НОМ}}$, А	Реактор				Примечание
	Тип	$I_{\text{НОМ}}$, А	L , мГн	Число	
1600	СРОСЗ-800М	1600	0,5	2	Соединены последовательно
2500	СРОСЗ-1250М	2500	0,32	2	То же
3200 4000	СРОСЗ-2000М	4000	0,2	1	—
5000	СРОСЗ-5000М	5000	0,32	1 (2*)	6-пульсная схема
	СРОСЗ-2000М	3200	0,32	2	12-пульсная схема
6300	СРОСЗ-6300	6300	0,25	2	Соединены последовательно, 6-пульсная схема
	СРОСЗ-2000М	4000	0,2	2	12-пульсная схема
8000	СРОСЗ-4000М	4000	0,4	2	То же
10 000	СРОСЗ-5000М	5000	0,32	2	» »
12 500	СРОСЗ-6300М	6300	0,25	2	» »

* На напряжение 930 В.

Таблица 2.10. Данные сглаживающих реакторов преобразовательных агрегатов серии ТПП1

Преобразователь, $I_{\text{ном}}$, А	Реактор				Схема преобразователя
	Тип	$I_{\text{ном}}$, А	L , мГн	Число	
1600	СРОСЗ-800М	1600	0,5	1	6-пульсная схема
2500	СРОСЗ-1250М	2500	0,32	1	
4000	СРОСЗ-2000М	4000	0,2	1	
5000	СРОСЗ-3200М	6300	0,125	1	
5000, 6300	СРОСЗ-2000М	3200	0,32	2	12-пульсная схема, $U_{\text{дном}}=825$ В
	СРОСЗ-3200М	3200	0,5	2	12-пульсная схема, $U_{\text{дном}}=1050$ В
8000	СРОСЗ-4000М	4000	0,4	2	—
10 000	СРОСЗ-5000М	5000	0,32	2	
12 500	СРОСЗ-6300М	6300	0,25	2	

Примечание. $U_{\text{дном}}$ — номинальное выпрямленное напряжение ТП.

Таблица 2.11. Данные сглаживающих реакторов преобразовательных агрегатов серии ТВ(Р)

Преобразователь, $I_{\text{ном}}$, А	Реактор				Примечание
	Тип	$I_{\text{ном}}$, А	L , мГн	Число	
1600	ТРОС-630	1600	0,8	1	—
2500	ТРОС-630	2500	0,315	1	$U_{\text{дном}}=460, 660, 825$ В
	ТРОС-1000	2500	0,5	1	$U_{\text{дном}}=1050$ В
3150	ТРОС-1600	4000	0,315	1	$U_{\text{дном}}=660$ В
	ТРОС-2500	4000	0,5	1	$U_{\text{дном}}=825, 1050$ В
4000	ТРОС-1600	4000	0,315	1	6-пульсная схема
4000, 5000	ТРОС-1000	2500	0,5	2	12-пульсная схема, $U_{\text{дном}}=460, 660, 825$ В
	ТРОС-1600	2500	0,5	2	12-пульсная схема, $U_{\text{дном}}=1050$ В
6300	ТРОС-2500	4000	0,5	2	—
8000	ТРОС-1600	4000	0,315	2	
10 000	ТРОС-2500	5000	0,315	2	
12 000		4000	0,5	4	

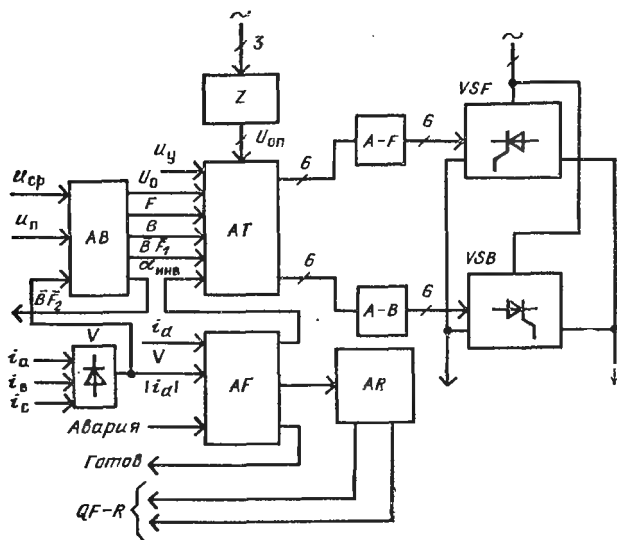


Рис. 2.1. Функциональная схема преобразовательной части электропривода серии КТЭУ с номинальным током 25—200 А

оговорено, то электроприводы комплектуются реакторами по техническим условиям. Типы реакторов для электроприводов серий КТЭУ, ЭКТ, КТЭ и для ТП серий ТППИ и ТВР приведены в табл. 2.7—2.11.

На рис. 2.1 показана функциональная схема преобразовательной части электропривода серии КТЭУ с номинальным током до 200 А. Узел фазосмещения АТ формирует шесть последовательностей импульсов для выпрямительного моста VSF или для моста VSB, которые усиливаются усилителями А-Ф и А-В. Сдвиг импульсов относительно силового напряжения определяется напряжением управления u_y . Для синхронизации с питающей сетью на вход АТ поступает опорное напряжение $U_{оп}$ после фильтра Z. Выбор работающего моста осуществляется логическим переключателем АВ в зависимости от полярности напряжения переключения u_n и абсолютного значения тока нагрузки $|i_a|$. В качестве датчика тока используются трансформаторы тока и выпрямитель V. Устройство АВ формирует логические сигналы выбора моста VSF или VSB, переключает полярность напряжения задания начального угла U_0 и вырабатывает сигнал бестоковой паузы $\overline{BF}_1 = 1$, по которому снимаются импульсы с обоих выпрямительных мостов. Сигнал $\overline{BF}_2$, появляющийся одновременно с сигналом $\overline{BF}_1$, но исчезающий несколько позже, служит для отключения сигнала задания тока во время бестоковой паузы (см. разд. 3). По сигналу $u_{ср}$ (срыв импульсов) импульсы снимаются с обоих выпрямительных мостов.

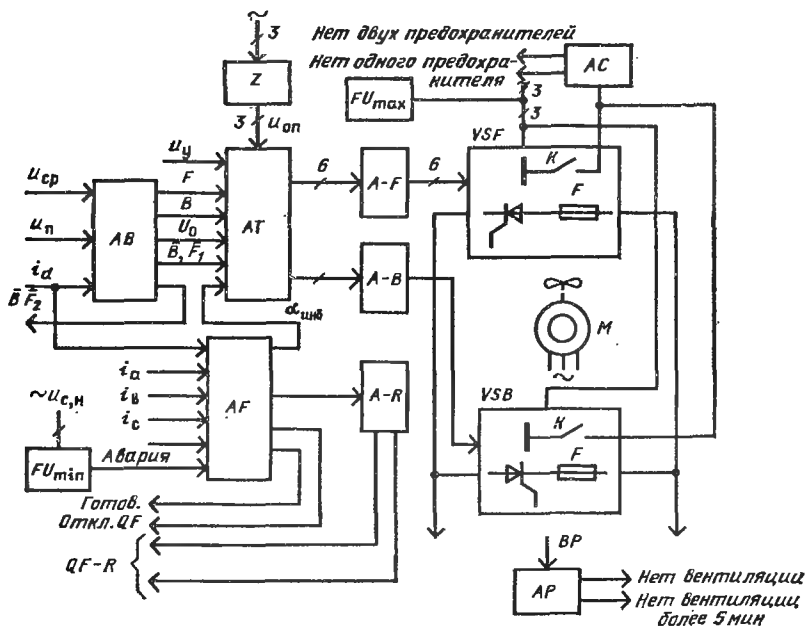


Рис. 2.2. Функциональная схема преобразовательной части электропривода серии КТЭУ с номинальным током 320—4000 А

Защита электропривода осуществляется узлом AF , который воспринимает перегрузки в цепи переменного тока $|i_d|$ и в цепи постоянного тока i_d , а также сигнал *Авария*, вырабатываемый в схеме управления электроприводом. Узел AF через узел ускоренного отключения AR отключает автоматический выключатель главной цепи QF , воздействуя на его независимый расцепитель R , снимает сигнал готовности в схеме управления электроприводом и сдвигает управляющие импульсы в инверторную область.

На рис. 2.2 показана функциональная схема преобразовательной части электропривода серии КТЭУ на токни 320—4000 А. Она отличается от схемы рис. 2.1 наличием системы принудительной вентиляции, осуществляемой вентилятором с асинхронным электродвигателем M , предохранителей для индивидуальной защиты тиристоров (начиная с номинального тока 1600 А), блока защиты от перенапряжений в силовой цепи (блок FU_{max}), узла контроля напряжения собственных нужд FU_{min} , воздействующего на отключение автоматов главной цепи. Наличие вентиляции контролируется реле BP . Узел AP вырабатывает логический сигнал отсутствия вентиляции, а также логический сигнал отсутствия вентиляции более 5 мин, приводящий к появлению сигнала *Авария*.

В узле контроля предохранителей АС логически обрабатываются

Таблица 2.12. Состав силовой части электроприводов серии КТЭУ

$I_{\text{ном}}$, А	Тип тиристора	Число тиристоров в плече	Вид вентиляции	Наличие предохранителя
25, 50, 100 200 320 500	T9-250 (T133-400)	1 2 2 3	Естественная » Принудительная »	Нет
800, 1000 1600 2500 4000 5000 6300 8000 10 000 12 500	T-630 (T153-630)	2 4 (3*) 5 6 10 12 12 20 24	Принудительная	Нет Есть » » » » » » »

* Без учета выхода из строя одного тиристора.

Примечания: 1. Для КТЭУ на токн 800, 1000 и 1600 А и напряжения 220 и 440 В используются вместо тиристоров Т-630 тиристоры Т-800.

2. Для 12-пульсных схем указано суммарное число тиристоров для обонх выпрямительных мостов.

3. В скобках приведены типы приборов при использовании тиристоров единой унифицированной серии (ЕУС).

Таблица 2.13. Состав силовой части электроприводов серии ЭКТ мощностью до 2000 кВт

$I_{\text{ном}}$, А	$U_{\text{ном}}$, В	Тип тиристора	Число тиристоров в плече	Вид вентиляции	Наличие предохранителя
25; 50, 100, 200	220; 440	T133-400	1	Естественная	Нет
320	220; 440	T253-1000	1	»	»
500			1	Принудительная	
800	220; 440	T253-1000	1	»	Есть
1000			1		
1600			2		

Продолжение табл. 2.13

$I_{\text{ном}}, \text{A}$	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	Тип тиристора	Число тиристо- ров в плече	Вид венти- ляции	Наличие предохра- нителя
800	600	Т153-63)	2	Принуди- тельная	Есть
1000	600; 750				
1600	600; 750		3		
2500	220; 400; 600; 750; 930		5		
3200	400; 600		6		
4000	440		6		

Таблица 2.14. Состав силовой части электроприводов
серии КТЭ и преобразователей серии ТПП1

$I_{\text{ном}}, \text{A}$	Тип тиристора	Число тирис- торов в плече	Вид вентиляции	Наличие предохрани- теля
25, 50, 100	Т14-160	1	Естественная	Нет
200	Т14-320	1		
320, 500	Т-1000	1		
800, 1000	Т-1000	3		
1600	Т-1000	4		
2500	Т353-800	4	Припудительная	Есть
4000		6		
5000		7		
6300		10		
8000		12		
10 000		14		
12 000		24		

Примечание. Для 12-пульсных схем указано суммарное число тиристор-
ов для обоих выпрямительных мостов.

Таблица 2.15. Состав силовой части преобразовательных агрегатов серий ТЕ(Р), ТВ(Р)

$I_{\text{ном}}$ А	Число тиристоров в плече	Вид охлаждения
100	1	Естественное
200, 320	2	
500	3	
800	4	
1000	5	
1600	8	Водяное
2500	12	
3200	12	
5000	24	
6300	24	
8000	48	
10 000	48	

Примечания: 1. В преобразователях серий ТЕ(Р), ТВ(Р) применяются тиристоры типа Т2-320.

2. Для 12-пульсных схем указано суммарное число тиристоров обоих выпрямительных мостов.

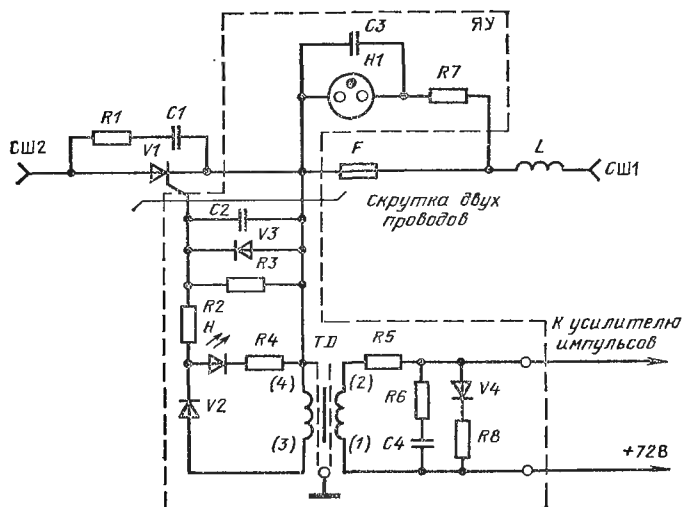


Рис. 2.5. Схема блока БВО:

ЯУ — ячейка управления (импульсный узел); СШ1, СШ2 — силовые штепсельные разъемы

с охладителями ОА-033, защитные RC -цепи (R_1C_1), а также RCV -цепи, включенные параллельно управляющим электродам тиристоров и размещенные в специальной ячейке управления.

Импульсный трансформатор $TP1$ и дублирующие RC -цепи размещаются в отдельной ячейке $ЯУ1$ ($ЯУ2$ и $ЯУ3$), которая подключается к усилителям импульсов (УИ) СИФУ.

Предохранители для защиты тиристоров устанавливаются вне блока (в шкафу), причем один предохранитель используется для двух встречно включенных тиристоров в реверсивных схемах.

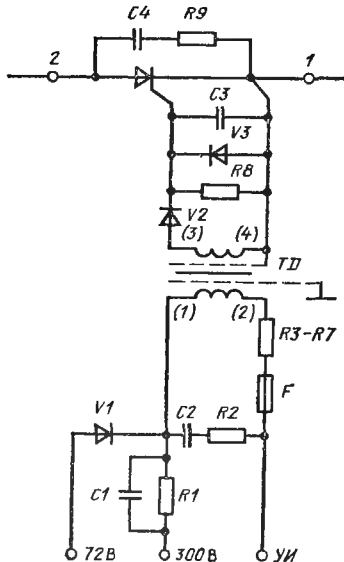


Рис. 2.6. Силовая часть и импульсный узел тиристора Т9-250 (серия КТЭУ)

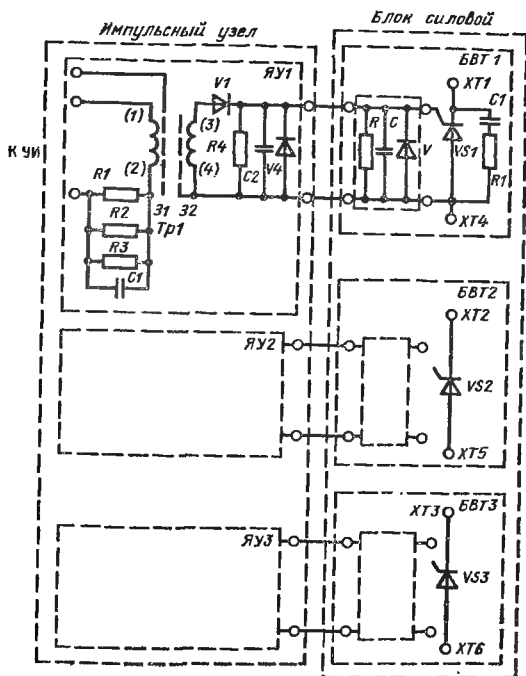


Рис. 2.7. Силовой блок серии ЭКТ

2.3. Системы импульсно-фазового управления

Система импульсно-фазового управления предназначена для преобразования выходного напряжения системы управления u_y в последовательность подаваемых на тиристоры отпирающих импульсов, момент формирования которых смещен относительно моментов естественного отпирания тиристоров на угол α , зависящий от значения u_y . В современных электроприводах СИФУ выполняют как синхронные многоканальные, т. е. в них выполняется отсчет угла α от моментов естественного отпирания для каждого плеча моста (или для каждой пары противофазных плеч). Система импульсно-фазового управления состоит из узла формирования опорных напряжений, компараторов, сравнивающих напряжение управления u_y и опорные напряжения $u_{оп}$, узлов, преобразующих моменты переключения компараторов в импульсы управления тиристорами, узлов ограничения диапазона изменения угла α и выходных усилителей. В реверсивных электроприводах СИФУ дополняется узлом выбора выпрямительного моста АВ.

Системы импульсно-фазового управления имеют следующие технические данные:

Максимальное входное напряжение, В, не более	8—10
Входной ток, мА, не более	5
Напряжение синхронизации с питающей сетью трехфазное, В	380 или 100
Допустимые коммутационные провалы, %·град	400
Температурный дрейф характеристики при изменении температуры от 1 до 40 °С, %, не более	4
Диапазон изменения угла α , град	5—170
Асимметрия импульсов отдельных каналов, град, не более	±3

Система импульсно-фазового управления гальванически отделена от силовой части электропривода. В реверсивных электроприводах устройство раздельного управления АВ обеспечивает бестоковую паузу не более 5—7 мс с возможностью ее регулировки.

В СИФУ используют два вида опорных напряжений: косинусоидальное, при котором характеристика $E_d=f(u_y)$ линейная:

$$E_d = k_{\Pi} u_y; \quad k_{\Pi} = E_{d0}/U_{опmax}, \quad E_{d0} = \frac{3}{\pi} U_{2max}, \quad (2.1)$$

где U_{2max} — амплитудное значение вторичного линейного напряжения, поступающего на выпрямительный мост; $U_{опmax}$ — амплитуда опорного напряжения, и линейно изменяющееся опорное напряжение, при котором характеристика $E_d=f(u_y)$ имеет вид

$$E_d = E_{d0} \sin \left(\frac{\pi}{2} \frac{u_y}{U_{опmax}} \right), \quad (2.2)$$

и для приращений

$$\Delta E_d = \left(\frac{\pi}{2} k_{\Pi} \sin \alpha \right) \Delta u_y. \quad (2.3)$$

Системы импульсно-фазового управления электроприводов серий

КТЭУ, КТЭ, ЭТУЗ601 преобразовательных агрегатов ТППИ и других выполняются с широким использованием операционных усилителей серии К5553УД2, логических интегральных микросхем серии К511.

2.3.1. Системы импульсно-фазового управления ТП электроприводов серии КТЭУ

Системы импульсно-фазового управления ТП электроприводов серий КТЭУ имеют следующие особенности: косинусоидальное опорное напряжение, шестиканальное устройство фазосмещения, использование одного устройства фазосмещения для обоих выпрямительных мостов в реверсивных электроприводах, высокочастотное заполнение узких отпирающих импульсов, использование сигналов с трансформаторов переменного тока для работы логического переключающего устройства.

Как следует из функциональных схем, приведенных на рис. 2.1—2.3, СИФУ состоит из узла формирования опорных напряжений, узла фазосмещения и переключающего устройства АВ.

Узел формирования опорных напряжений включает в себя трехфазный трансформатор с двумя группами вторичных обмоток, которые можно включать по схемам звезды или треугольника, и ячейку фильтра типа ЯФУ0176 с тремя каналами апериодических фильтров, обеспечивающих фазовый сдвиг на 60° (240° при учете инвертирования напряжения усилителями).

На рис. 2.8 изображена схема ячейки ЯФУ0176, причем в целях упрощения показан только один канал формирования опорного напряжения фазы А — напряжения A_F . Каналы фаз В и С аналогичны, причем напряжение трансформатора подается на контакты ячейки В9, В15, а напряжения B_F , C_F выводятся на контакты В5, В16. На ячейках размещен также узел формирования логических сигналов A_0 , B_0 , C_0 , служащих для ограничения угла α_{min} и имеющих длительность 180° . Узел состоит из компараторов А4—А6, микросхемы ключей Д1 типа К190КТП2П и формирователей напряжений смещения $\pm U_1$ на усилителях А2, А3. Когда на выходе компаратора напряжение имеет отрицательную полярность, один из ключей замкнут, и на вход связанного с этим ключом компаратора поступает выходное напряжение усилителя А2. Когда на выходе компаратора напряжение имеет положительную полярность, то на вход того же компаратора поступает выходное напряжение усилителя А3. При $U_1=0$ разрешенный для формирования диапазон угла α начинается с $\alpha=30^\circ$, т. е. $\alpha_{min}=30^\circ$. Если напряжение на выходе А2 больше нуля, то $\alpha_{min}<30^\circ$. Так как длительность логического сигнала 180° , то он используется для ограничения угла отпираания тиристоров одной и той же фазы как анодной, так и катодной выпрямительных групп.

Узел фазосмещения состоит из шести компараторов, на входе которых сравниваются напряжение управления u_y , напряжение смещения U_0 , обеспечивающее начальный угол управления при $u_y=0$:

$$\alpha_0 = \arccos(-U_0/U_{\text{оптmax}}), \quad (2.4)$$

и соответствующее опорное напряжение. При этом для тиристоров одной фазы анодной и катодной групп напряжение u_y имеет противоположные знаки.

Фазосмещение осуществляется в ячейке типа ЯФУ0175, схема которой приведена на рис. 2.9. На один из входов усилителя А1, имеющего 5—977

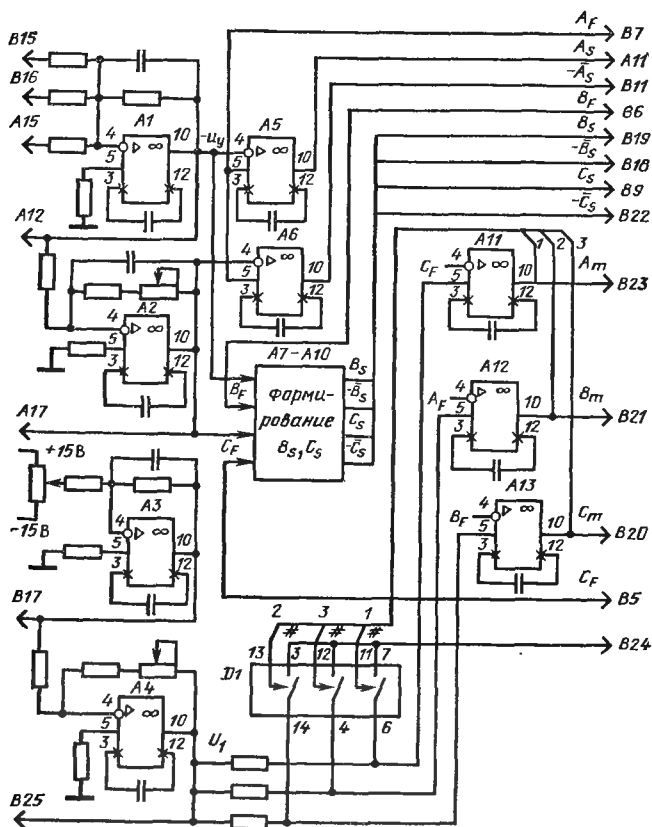


Рис. 2.9. Ячейка фазосмещения ЯФУ0175

на компараторах $A5-A10$, причем на компараторы $A5, A7, A9$ подается $-u_y$, а на компараторы $A6, A8, A10$ — $+u_y$.

На рис. 2.9 показана только схема компараторов $A5, A6$, схемы компараторов $A7-A10$ аналогичны. На выходах компараторов формируются напряжения прямоугольной формы $A_s, -A_s, B_s, -B_s, C_s, -C_s$, причем эти напряжения положительны, когда напряжение управления меньше опорного (см. рис. 2.10 для $u_y = 0,5U_{оп\max}$). На этой ячейке размещен также узел ограничения $\alpha_{\max}$, который выполнен по той же схеме, что и узел ограничения $\alpha_{\min}$, рассмотренный выше, но с другим порядком чередования фаз A_F, B_F, C_F [на рис. 2.10 A_m изображает логический сигнал ограничения $\alpha_{\max}$ при $\alpha_{\max} = 150^\circ$ ($U_1 = 0$)].

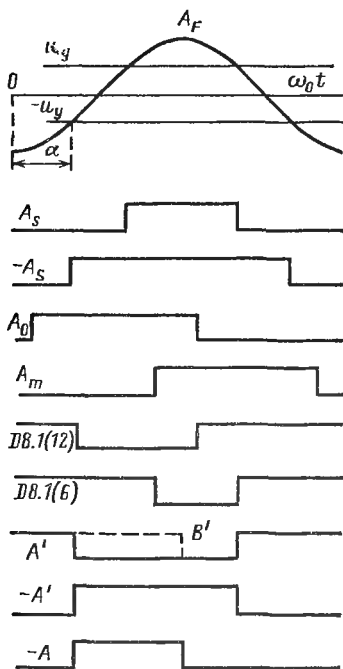


Рис. 2.10. Диаграммы напряжений в СИУ

Выходные напряжения A_s , $-\bar{A}_s$, B_s , $-\bar{B}_s$, C_s , $-\bar{C}_s$, а также напряжения ограничения α_{min} , α_{max} поступают на ячейку формирования диапазонов типа ЯФУ0174, рис. 2.11, на котором показаны только цепи формирования логических сигналов фазы А (сигналы A' и $-\bar{A}'$). Входные напряжения остальных фаз B_s , $-\bar{B}_s$, B_0 , B_m , C_s , $-\bar{C}_s$, C_0 , C_m — поступают соответственно на следующие контакты ячейки: $B20$, $A19$, $A20$, $A18$, $A24$, $A25$, $A23$, $B24$. На входе этих цепей установлены диоды, срезающие отрицательную полярность входного напряжения. Логические сигналы A' и $-\bar{A}'$ имеют длительность 180° (см. рис. 2.10). Моменты появления этих сигналов совпадают с моментами равенства u_y и $U_{оп}$ соответствующей фазы при $\alpha_{min} < \alpha < \alpha_{max}$.

Если $\alpha < \alpha_{min}$, то на выходе 12 элемента $D8.1$ не появится логический 0 до тех пор, пока сигнал A_0 не станет равным логической 1; если $\alpha > \alpha_{max}$, то в тот момент, когда сигнал A_m станет равным логической единице, на выходе 6 элемента $D8.1$ появится логический 0 (так как $-\bar{A}_s$ при этом равен логической 1) и, следовательно, появится сигнал A' . При пе-

реклучении мостов назначение сигналов A_s и $-\bar{A}_s$ изменяется. На выходах микросхем $D10$ — $D12$ формируются логические сигналы длительностью 120° , момент появления которых соответствует углу α . При подаче логического нуля на вход S импульсы подаются на все тиристоры. При подаче логического нуля сигнала α_n управляющие импульсы выдаются при $\alpha = \alpha_{min}$, при подаче логического 0 сигнала α_n управляющие импульсы формируются при $\alpha = \alpha_{max}$. На ячейке размещены также элементы $D13$, $D14$, используемые в других схемах.

120-градусные логические сигналы ячейки ЯФУ0174 поступают на ячейку мультивибратора типа ЯФУ0180 (рис. 2.12), который формирует прямоугольные импульсы частотой 40—50 кГц. На выходах триггеров $T1$ — $T6$, имеющих на входах K логические 1, появляются пакки импульсов длительностью 120° , при этом исключается «неполноценный» первый импульс в момент появления сигнала A (или $-\bar{A}$, B и т. п.).

В момент появления любого из 120-градусных логических сигналов на выходе элемента $D1.1$ формируется импульс длительностью, определяемой емкостью входных конденсаторов и сопротивлениями резисторов

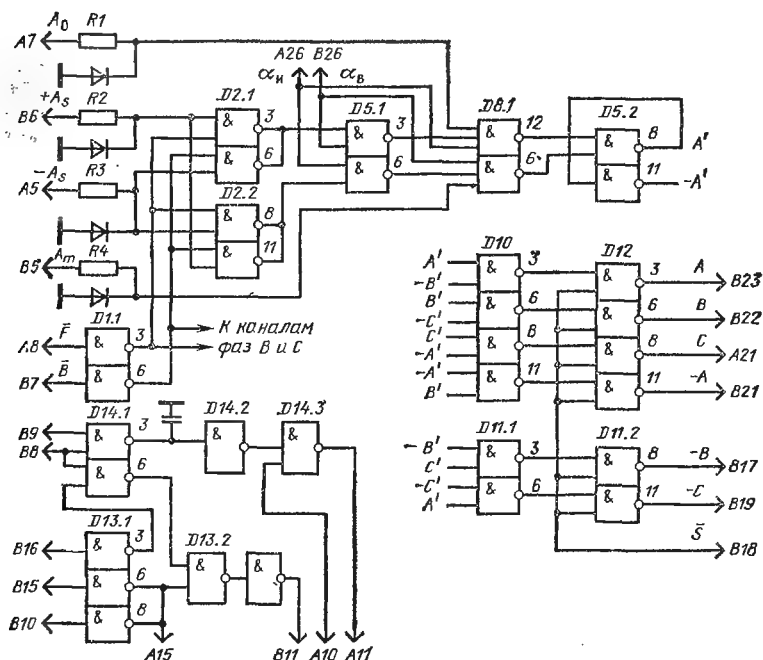


Рис. 2.11. Ячейка формирования диапазонов ЯФУ0174

в цепи базы транзистора VT (обычно 300—500 мкс). Этот импульс вызывает появление на выходе триггера $T7$ последовательность импульсов, которая через группы сборок по И $D5$ — $D7$ подается на тиристоры мостов VSF или $VSБ$ через промежуточные усилители (см. далее), причем активный уровень соответствует логическому 0.

Так как длительность логических сигналов 120° , то во время их действия формируются по два управляющих импульса для каждого тиристора (основной и дополнительный).

На элементах $D4$, $D2$ собрана логическая схема защиты при сбое переключающего устройства. Если сигналы $\bar{B}$ и $\bar{F}$ — логические 1, то на выходе $D4.1$ появится логический 0, при котором срабатывает защита, а на выходах элементов $D2.2$, $D2.3$ появятся логические 0, запрещающие подачу импульсов. При соединении контакта $A15$ с общей точкой импульсы также снимаются с обоих мостов.

Микросхема $D3.1$ служит для расширения функциональных возможностей ячейки.

Вход S служит для подачи управляющих импульсов на тиристоры, которые находятся в рабочем диапазоне, после окончания бестоковой паузы, что позволяет уменьшить запаздывание при переключении; вход S соединяется с выходом ячейки переключения выпрямительных мостов.

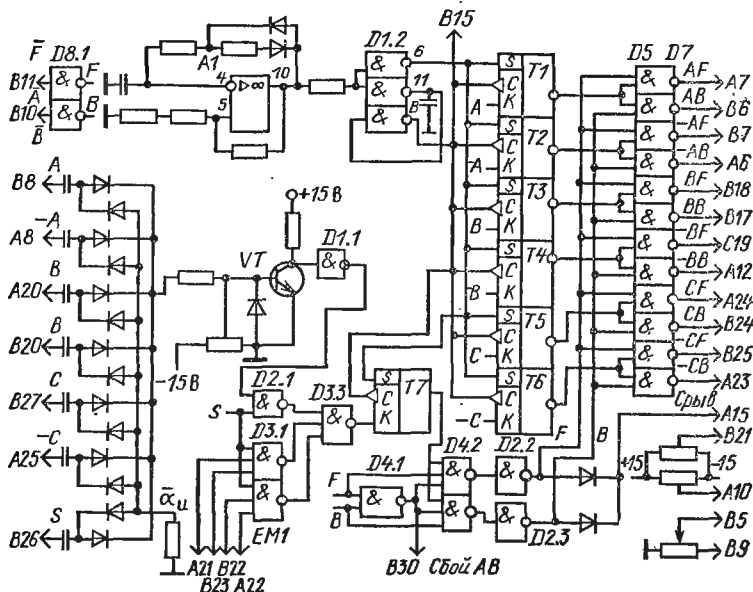


Рис. 2.12. Ячейка мультивибратора ЯФУ0180

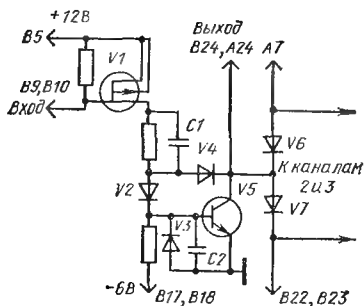


Рис. 2.13. Ячейка усиления импульсов ЯФУ0181

Ячейки типа ЯФУ0181 предназначены для усиления импульсов. Ячейка имеет три канала, каждый из которых может обслужить до шести тиристоров. На рис. 2.13 изображена схема одного канала; схемы остальных двух каналов аналогичны, причем входные импульсы этих каналов подаются на контакты B6 и A8, A9, а выходные снимаются с контактов B7, B8 и A27, B27.

Усилитель импульсов двухкаскадный с полевым транзистором в первом каскаде. Транзистор V5 открывается при подаче логического 0 на вход канала. Конденсатор C1 служит для ускорения включения этого транзистора.

Ячейки ЯФУ0177 и ЯФУ0178 предназначены для выбора работающего выпрямительного моста (рис. 2.14, 2.15). В качестве датчика нулевого тока использованы трансформаторы тока, устанавливаемые на шинах питания ТП. Вторичные обмотки трансформаторов тока соединены

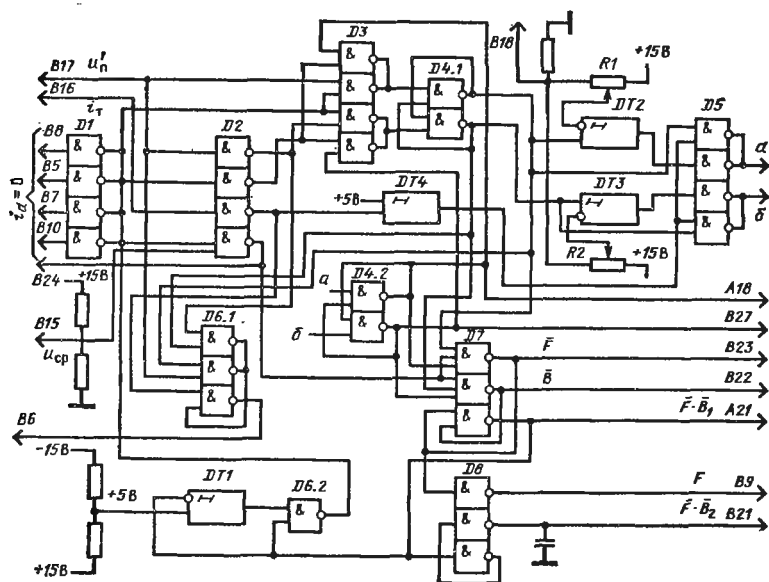
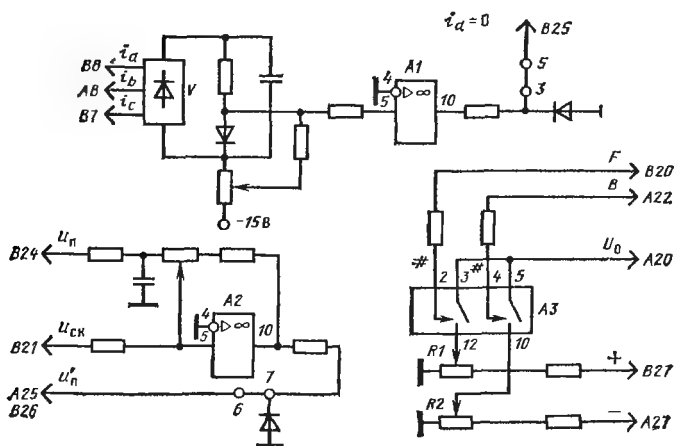


Рис. 2.14. Ячейка логики переключения ЯФУ0178



в звезду. Напряжение на выпрямитель, размещенный в ячейке типа ЯФУ0177, подается через промежуточный трансформатор. На выходе выпрямителей установлен нуль-орган $A1$. Выходной сигнал нуль-органа соответствует логическому 0 при отсутствии (точнее, при весьма малом значении) выпрямленного тока. Компаратор $A2$ по сигналу выбора группы u_n формирует логический сигнал u_n , поступающий в ячейку переключения. При $u_n > 0$ включается мост VSF . На вход $u_{сн}$ можно подать небольшое напряжение частотой 50 Гц, которое будет осуществлять поиск моста, в котором существуют условия для протекания тока («сканирование»), при малых по модулю значениях напряжения u_n . Микро-схема ключей $A3$ осуществляет переключение сигнала согласования характеристик при переключении выпрямительных мостов. Значения U_0 для мостов VSF , VSB устанавливаются потенциометрами $R1$, $R2$.

На вход ячейки типа ЯФУ0178 поступают следующие логические сигналы:

- сигнал u_n^* , определяющий требуемый выпрямительный мост;
- сигналы от четырех (для наиболее сложной силовой схемы) датчиков нулевого тока, размещенных на ячейках типа ЯФУ0177;
- сигнал $i_T = 0$ из схемы «тонкого» датчика тока (в рассматриваемой серии не используется);
- сигнал срыва импульсов $u_{ср}$ из системы регулирования.

Выбор выпрямительной группы выполняется микросхемой $D3$. При отсутствии тока i_d на выходе микросхемы $D1$ имеется логическая 1, а на выходе верхней или нижней части микросхемы $D3$ появляется логический 0. Триггер $D4.1$ переключается, и начинает работать линия задержки $DT2$ или $DT3$, выполненная на операционном усилителе с емкостной обратной связью и регулируемым потенциометрами $R1$, $R2$ напряжением смещения. Время задержки изменяется в пределах 2—7 мс.

После окончания отсчета выдержки времени на выходе микросхемы $D5$ появляется логический 0 и триггер $D4.2$ переключается. Если до окончания отсчета выдержки времени появится выпрямленный ток, то триггер $D4.1$ под действием сигналов с триггера $D4.2$ возвратится в предыдущее состояние; в исходное состояние возвратится также схема задержки. Во время отсчета паузы оба сигнала $\bar{F}$ и $\bar{B}$ принимают значение логической 1, а сигналы $\bar{F}\bar{B}_1$ и $\bar{F}\bar{B}_2$ — логического 0. После окончания отсчета паузы один из сигналов $\bar{F}$ или $\bar{B}$ — становится равным логическому 0, а сигнал $\bar{F}\bar{B}_1$ — логической 1. Сигнал $\bar{F}\bar{B}_2$ принимает значение логической 1 спустя 200—300 мкс, определяемое емкостью конденсатора, устанавливаемого на выходе микросхемы $D8$. Если сигнал $u_{ср}$ принимает значение логической 1, то при отсутствии выпрямленного тока на выходе $D2.4$ появляется логический 0. Сигналы $\bar{F}$ и $\bar{B}$ устанавливаются в единичное состояние. На линии задержки $DT1$ и элемента $D6.2$ собран узел, ограничивающий частоту переключения выпрямленных групп; время задержки равно 200—300 мкс.

Система импульсно-фазового управления серии ЭКТ несколько отличается от описанной, хотя структура СИФУ не меняется. Так как элементы системы управления в этой серии размещены на печатных платах увеличенного размера, то по своим функциям каждая ячейка управления в серии ЭКТ заменяет несколько ячеек из серии КТЭУ. В серии ЭКТ имеются ячейка фазосмещения, ячейка формирования импульсов, ячейка

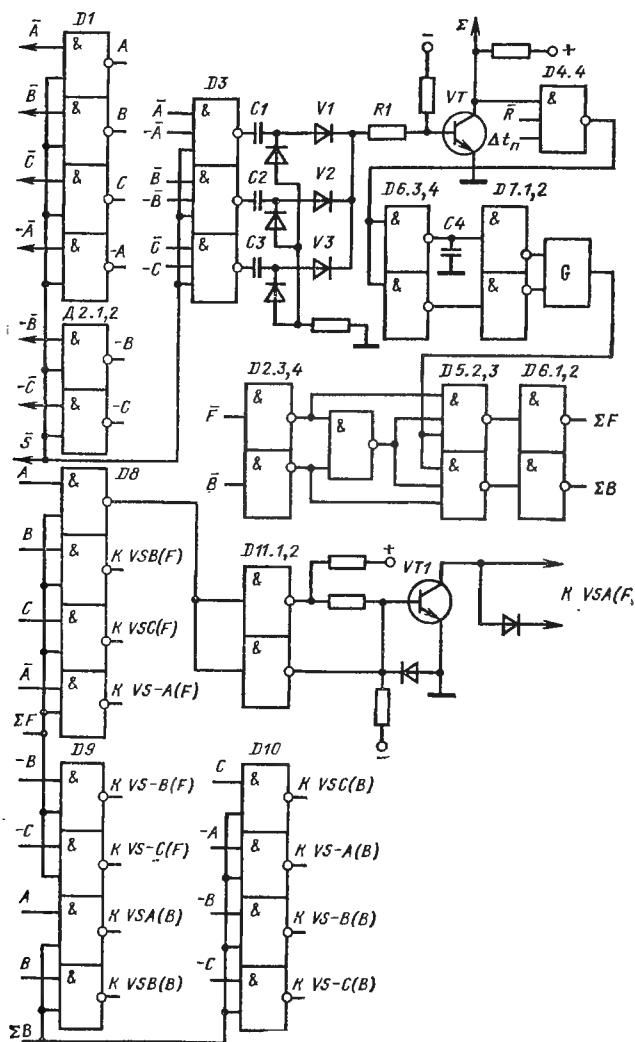


Рис. 2.16. Ячейка формирования импульсов в электроприводах серии ЭКТ

логического переключающего устройства (ЛПУ). Ячейка фазосмещения содержит узлы, показанные на рис. 2.8, 2.9, 2.11 (кроме выходных микросхем $D11.2$, $D12$). Упрощенная схема ячейки формирования импульсов изображена на рис. 2.16.

На вход этой ячейки подаются импульсы длительностью 120° (выходы микросхем $D10$, $D11.1$, см. рис. 2.11). По фронту каждого из шести импульсов через дифференцирующие цепочки, образованные конденсаторами $C1—C3$, диодами $VI—V3$ и резистором $R1$, открывается на время управляющего импульса длительностью 400–500 мкс транзистор VT и запускается ждущий мультивибратор G , формирующий импульсы частотой 40–50 кГц, «заполняющие» управляющий импульс.

В зависимости от того, какой из выпрямительных мостов должен проводить ток, формируются импульсы ΣF или ΣB . С помощью сборок по И $D8—D10$ вырабатываются импульсы управления, которые через усилители поступают на управляющие электроды тиристоров мостов F или B . Так как длительность импульсов A , B и т. д. 120° , то на каждый тиристор будет подано по два управляющих импульса: один при появлении «своего» импульса диапазона, а второй — через 60° при появлении следующего импульса диапазона.

Усилители импульсов выполнены на микросхемах — инверторах и транзисторах $VT1—VT6$ для выпрямительного моста F и $VT7—VT12$ для моста B . (На рис. 2.16 показан один из 12 каналов усиления импульсов).

При появлении логического сигнала $\bar{S}$ импульсы подаются на все тиристоры, а при появлении сигнала R формирование импульсов прекращается. Формирование импульсов запрещается также во время бестоковой паузы (логический сигнал $\Delta \bar{I}_n$). В схеме ячейки имеется не показанный на рисунке узел, снимающий питание с выходных каскадов при пробое одного из транзисторов $VT1—VT16$.

Логическое переключающее устройство, примененное в электроприводах серии ЭКТ, отличается тем, что в нем наряду с контролем тока нагрузки осуществляется контроль состояния тиристоров датчиком состояния (ДСТ). Последний выполнен на светочувствительных диодах типа АЛ-107Б и фототранзисторах ФТ-2К. При несоответствии знака сигнала u_n и работающего выпрямительного моста при уменьшении тока нагрузки до минимального значения снимаются импульсы с работающего моста, а после выдачи сигнала разрешения ДСТ начинается отсчет паузы, составляющей 0,5–1 мс, и после ее окончания подаются импульсы на вступающий в работу мост. Имеется возможность исключить из работы один из датчиков разрешения переключения.

В схеме ЛПУ предусмотрена возможность реализации автоколебательной логики: каждый второй управляющий импульс (первый после переключения импульс выдается со случайным углом α и может не вызвать отпирания тиристора) при наличии разрешающих сигналов датчиков состояния вызывает появление знакопеременного сигнала $u_{ск}$, который складывается с сигналом u_n . Если $|u_{ск}| > |u_n|$ и датчики состояния переключения не запрещают, то происходит попеременное переключение мостов до тех пор, пока в каком-либо из них не появятся условия для протекания тока или же сигнал u_n не достигнет достаточно большого значения, обычно соответствующего режиму гранично-непрерывного тока.

2.3.2. Системы импульсно-фазового управления ТП электроприводов серии КТЭ и агрегатов серии ТПП1

В СУФУ электроприводов серии КТЭ и агрегатов серии ТПП1 используется линейное опорное напряжение. Структурная схема СИФУ агрегата серии ТПП1 изображена на рис. 2.17. Цифрами у входов и выходов обозначены контакты разъема ячеек, которые соединены параллельно в этой серии (например, 18 означает параллельное соединение контактов $A18, B18$). В графическом изображении ячеек кроме их условного обозначения приведен также их тип (N102, N107 и т. п.).

Ячейка фильтров опорных напряжений Z вырабатывает три сглаженных, сдвинутых на 120° синусоидальных напряжений, момент перехода которых через нуль соответствует моменту естественного отпирания тиристоров ($\alpha=0$). В отличие от описанных ранее (см. п. 2.3.1) апериодических фильтров в ячейке применены фильтры в виде колебательного звена, образованного двумя последовательно соединенными интеграторами с общей отрицательной обратной связью. Частота собственных колебаний фильтра 50 Гц. Фильтр обеспечивает сдвиг фазы выходного напряжения при провалах входного напряжения на $400\% \cdot \text{град}$ не более $\pm 1,5^\circ$, при колебаниях частоты входного сигнала в пределах ± 1 Гц — не более $\pm 2^\circ$.

После фильтра напряжения поступают на ячейку синхронизации UR , в которой с помощью трех нуль-органов формируются логические сигналы длительностью 180° (U_1, U_2, U_3), а также импульсы сброса $R1-R3$ в момент перехода входных напряжений через нуль (2 раза за период) и импульс сброса R_0 , являющийся логической суммой $R1-R3$. Длн-

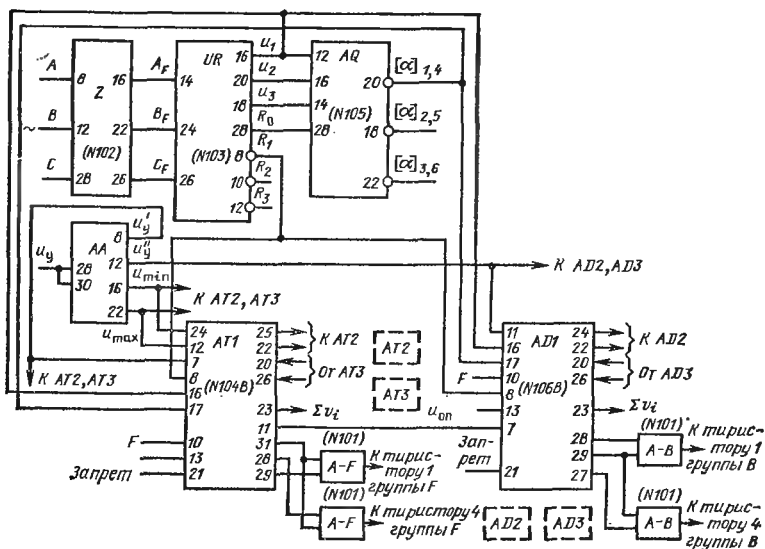


Рис. 2.17. СИФУ агрегата серии ТПП1

тельность импульсов сброса 100—150 мкс. Активный уровень — логический 0.

Напряжения $U_1—U_3$ и импульс сброса R_0 поступают в ячейку ограничения AQ , вырабатывающую импульсы для ограничения диапазона изменения угла $[\alpha_{min}, \alpha_{max}]$. Пределы настройки $\alpha_{min}=3\div 57^\circ$, $\alpha_{max}=123\div 177^\circ$. Ячейка $N105$ содержит генератор пилообразного напряжения, выполненный на интеграторе с ключом в цепи обратной связи. После прихода импульса R_0 срабатывает входной триггер, ключ закрывается и напряжение на выходе интегратора возрастает. Это напряжение сравнивается с уставками α_{min} , α_{max} на входах двух компараторов, на выходах которых формируются логические сигналы, соответствующие моментам α_{min} , α_{max} . После появления сигнала α_{max} входной триггер срабатывает, ключ открывается, сбрасывая напряжение интегратора до нуля, и схема возвращается в исходное состояние.

Выработанные на каждом 60-градусном интервале импульсы α_{min} , α_{max} поступают в логическую схему выделения диапазона, в которую также подаются логические сигналы $U_1—U_3$, определяющие интервал проводимости выпрямительного моста. На выходе логической схемы для каждой пары тиристоров (по одному из катодной и анодной групп) формируются логические сигналы допустимого диапазона $[\alpha]$ (активный уровень — логический 0), момент появления которых совпадает с моментом, соответствующим α_{min} для данного тиристора, а момент окончания — с моментом α_{max} . В каждом канале формируются два таких импульса за период — для тиристоров катодной и анодной групп.

Напряжение управления, определяющее угол управления α , формируется в ячейке AA как сумма напряжения u_y , вырабатываемого системой управления, и напряжения начального угла U_0 . При этом для мостов VSF , VSB выходные напряжения u_y и u_y имеют разные полярности. На ячейке размещен также узел, вырабатывающий напряжения U_{max} , U_{min} , определяющие амплитуду опорного напряжения.

Импульсы, соответствующие углу α , генерируются в ячейках AT и AD (ячейка AD используется в реверсивных электроприводах). Каждая ячейка формирует двоякие через 60° импульсы для двух противофазных тиристоров. Длительность единичного импульса 10° . Схема ячейки приведена на рис. 2.18.

Ячейка содержит генератор пилообразного опорного напряжения, выполненный на усилителях $A2—A4$, компаратор $A1$, построенный на элементах $D1.2$, $D1.3$, $D2.2$, $D2.3$, узел ограничения α_{min} , α_{max} , формирователь длительности отпирающих импульсов, выполненный на транзисторах $VT2$, $VT3$, логику распределения импульсов на элементах $D3.2$, $D3.3$, $D4.1$, $D4.2$ и усилители импульсов управления на транзисторах $VT4—VT7$.

При открытом транзисторе $VT1$ в цепи обратной связи усилителя $A2$ конденсатор $C1$ закорочен, и выходное напряжение усилителя равно поданному на его вход напряжению U_{min} , которое принято равным 8 В. При закрытом транзисторе $VT1$ усилитель $A2$ интегрирует входное напряжение положительной полярности, поданное через резистор $R1$ на его инвертирующий вход, так что выходное напряжение усилителя $A2$ убывает по линейному закону. Транзистор $VT1$ открывается на короткое время (соответствующее $1—3^\circ$) импульсом сброса $R1$; после каждого такого импульса выходное напряжение $A2$ скачком возрастает до 8 В, после чего линейно уменьшается, как это описано выше, до появления

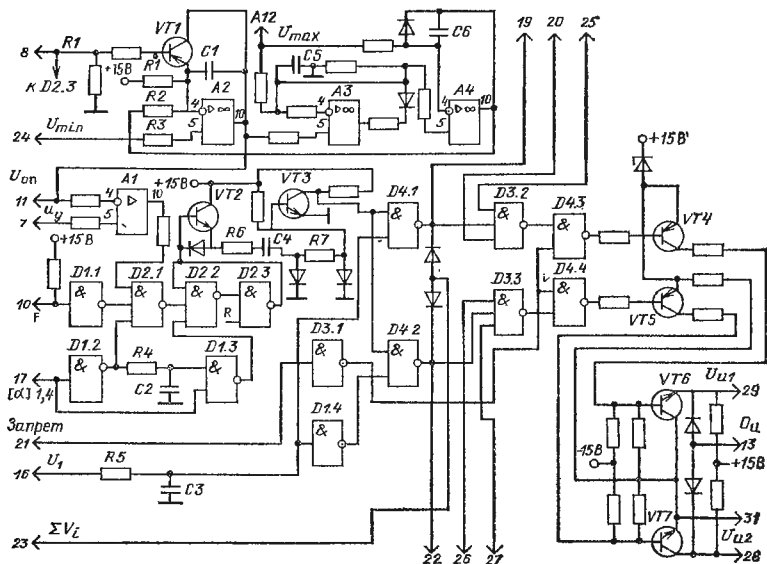


Рис. 2.18. Ячейка фазосмещения N104B

следующего импульса на $R1$. Усилители $A3$ и $A4$ вместе с конденсатором $C6$ и связанными с ними резисторами образуют регулятор амплитуды опорного напряжения отрицательной полярности. Амплитуда этого напряжения запоминается конденсатором $C6$, и при отличии амплитуды от заданного значения U_{max} регулятор-усилитель $A4$ через резистор $R2$ изменяет значение интегрируемого усилителем $A2$ напряжения так, чтобы обеспечить равенство амплитуд опорного напряжения и U_{max} .

Опорное напряжение сравнивается с напряжением управления компаратором $A1$, и при $u_y > u_{оп}$ взводится триггер $D2.2, D2.3$, который запускает времязадающий узел, выполненный на транзисторах $VT2, VT3$, резисторах $R6, R7$ и конденсаторе $C4$. При поступлении из схемы защиты сигнала логической 1 формирование импульсов прекращается. Формирование импульсов происходит в диапазоне $[\alpha]_{1-4}$, когда соответствующий сигнал равен логическому 0. Если после перехода этого сигнала в состояние логической 1 отпирающий импульс не сформировался, на выходе $D1.3$ кратковременно образуется логический 0, который также взводит триггер, что вызывает появление импульса с углом α_{max} . Выделение импульсов для катодной и анодной групп осуществляется на элементах $D4.1, D4.2$ в зависимости от значения логического сигнала u_i . Выходные импульсы этих элементов подаются на контакты разъема $A19, B19$ и $A22, B22$ для использования в качестве дополнительных импульсов для тиристоров, вступивших в работу раньше. На элементы $D3.2, D3.3$ могут быть поданы дополнительные импульсы от

аналогичных ячеек, управляющих тиристорами, вступающими в работу позже. При подаче логической 1 на вход *Запрет* выдача отпирающих импульсов, которая выполняется через усилители мощности *VT4*, *VT6*, *VT5*, *VT7*, прекращается.

В ячейке формирователей импульсов *AD* моста *VSB* используется опорное напряжение, получаемое из ячейки *AT*. Схемы ячеек аналогичны, за исключением элементов, относящихся к генератору $U_{оп}$ (усилители *A2—A4* и связанные с ними элементы).

На компаратор *A1* поступает напряжение управления противоположного знака, т. е. $-u_y$.

Для управления тиристорами импульсы усиливаются по мощности и модулируются высокой частотой в усилителях *A—F* (для моста *VSF*) и *A—B* (для моста *VSB*). Каждая ячейка типа *N101* обслуживает одно плечо выпрямительного моста.

В реверсивных ТП переключение выпрямительных мостов осуществляется по комбинированному алгоритму. Когда напряжение выбора выпрямительного моста u_n , в качестве которого используется сигнал задания в регулятор тока, превышает некоторое значение $U_{но}$, соответствующее режиму прерывистого тока, полярность u_n определяет необходимый мост, причем разрешение на переключение формируется датчиком закрытого состояния тиристоров. Если же $|u_n| < U_{но}$, то происходит попеременное включение выпрямительных мостов. С работающего моста импульсы снимаются при $|u_n| < U_{но}|$ или если знак u_n не соответствует работающему мосту, а также закрыты тиристоры анодной или катодной группы тиристоров. Подача отпирающих импульсов на другой мост возможна после паузы и фиксации запертого состояния тиристоров анодной и катодной групп работавшего ранее моста.

Схема датчика закрытого состояния тиристоров *UQ* приведена на рис. 2.19. Работа датчика основана на уменьшении коэффициента связи между обмотками *I* и *II* при работе обмотки *III* в режиме, близком к короткому замыканию, при открывании транзистора *VT2* во время работы тиристора, к которому подключен датчик. Выходные напряжения датчиков подаются на компараторы, размещенные в ячейке формирователей типа *N118*, где при превышении некоторого порогового значения 5—6 В формируются логические сигналы закрытого состояния тиристоров. Из ячейки выдаются логические сигналы закрытого состояния каждого плеча (логические 1) и отдельно состояния анодной и катодной групп выпрямительного моста (логический 0). Каждая ячейка обслуживает вы-

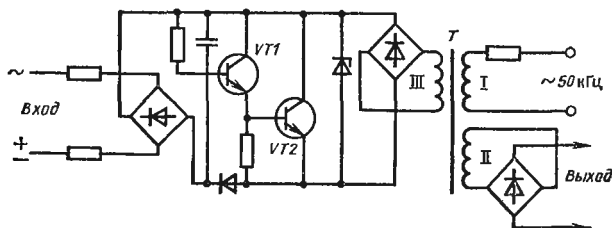


Рис. 2.19. Датчик состояния тиристоров преобразовательных агрегатов серии ТПП1 и электроприводов серии КТЭ

прямительный мост. На ячейке типа N118 размещен также генератор питания датчиков закрытого состояния. Число датчиков UQ определяется силовой схемой ТП. В электроприводах серии КТЭ, в которых тиристоры каждого плеча групп VSF и VSB включены встречно-параллельно, используются шесть датчиков. В 12-пульсных выпрямительных схемах используются 24 датчика.

Структурная схема узлов переключения выпрямительных мостов показана на рис. 2.20. В 12-пульсной схеме используются два комплекта таких узлов для двух выпрямителей, подключенных к обмоткам силового трансформатора, соединенным в треугольник и звезду; узлы блокированы между собой для обеспечения одновременной подачи импульсов на тиристоры обоих выпрямителей. Требуемый выпрямительный мост выбирается сигналом направления B , узел формирования которого для преобразователей серии ТПП1 находится в ячейке регулирования токов типа N109. Узел содержит два компаратора $TH1$ и $TH2$, на входе которых напряжение u_n , задающее выпрямительный мост (обычно напряжение задания тока), сравнивается со значением U_{no} , соответствующим режиму прерывистого тока. Выходные сигналы компараторов определяют выходной сигнал триггера T . Если же $|u_n| < |U_{no}|$, то на выходе обоих компараторов логические 1, и переключение триггера происходит после каждого отключения AT , AD устройством AB при переключении мостов, чем и обеспечивается сканирование.

Схема ячейки переключения приведена на рис. 2.21. Триггер $T1$ переключается сигналом B при отсутствии в этот момент импульсов управления и сигнала бестоковой паузы, а также при наличии сигнала закрытых тириستоров катодной или анодной групп работающих выпрямительных мостов. После восстановления напряжения на всех тиристорах ТП с выдержкой времени, определяемой конденсатором $C1$ и составляющей 0,5—0,75 мс, переключается триггер $T2$.

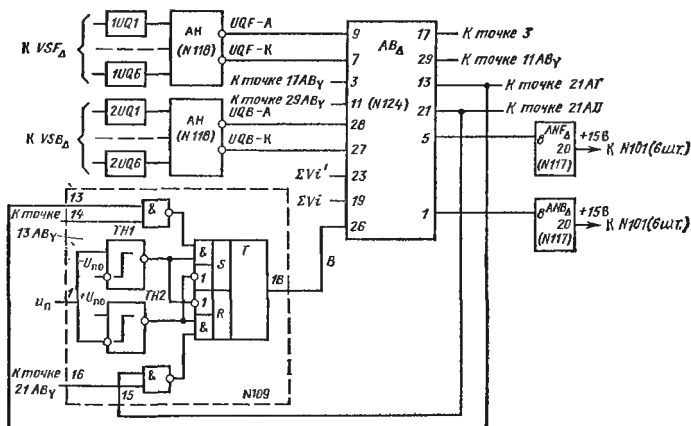


Рис. 2.20. Узлы переключения выпрямительных мостов преобразовательных агрегатов серии ТПП1

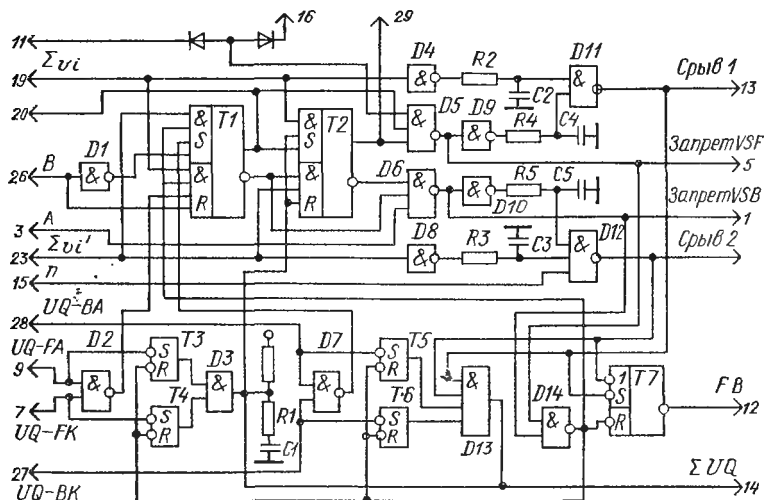


Рис. 2.21. Ячейка логики переключения N124

При переключении триггера $T1$ на выходе обоих элементов $D5, D6$ устанавливаются логические 1 и подаются сигналы запрета включения тиристорных мостов VSF, VSB . При этом снимается питание $+15\text{ В}$ с выходных каскадов системы управления с помощью ячеек ANF, ANB , формируются сигнал паузы FB и сигналы срыва импульсов.

После переключения $T2$ при получении подтверждающих сигналов со второго устройства AB_v на выходе одного из элементов $D5, D6$ устанавливается логический 0, что приводит к подаче питания на выходные каскады вступающих в работу выпрямительных мостов и спустя выдержку времени, определяемую конденсатором $C4$ или $C5$, ко включению устройства AT или AD . При этом снимается сигнал FB .

Структурная схема СИФУ электропривода серии КТЭ приведена на рис. 2.22. В ней применены гибридные интегральные схемы (ГИС) типа ДК1, размещенные в ячейке фазосмещения AT . Работа такой ГИС описана в [11]. Каждая ГИС формирует последовательность импульсов для двух плеч выпрямительного моста VSF и для двух плеч моста VSB . По схеме она близка к схеме канала фазосмещения, изображенного на рис. 2.18. Схема содержит два нуля-органа, генерирующих импульсы длительностью 180° на интервалах $A_F > 0$ и $A_F < 0$, а также короткий импульс сброса напряжения интегратора, вырабатывающего опорное напряжение, компаратор напряжений $u_{оп}$ и u_y , формирователь длительности отпирающего импульса, схему логики, вырабатывающей отпирающий импульс на одном из четырех выходов ГИС в зависимости от условий $A_F > 0$ или $A_F < 0$ и от сигнала из узла переключения мостов AB , а также схему получения сдвоенных (основного и дополнительного) импульсов.

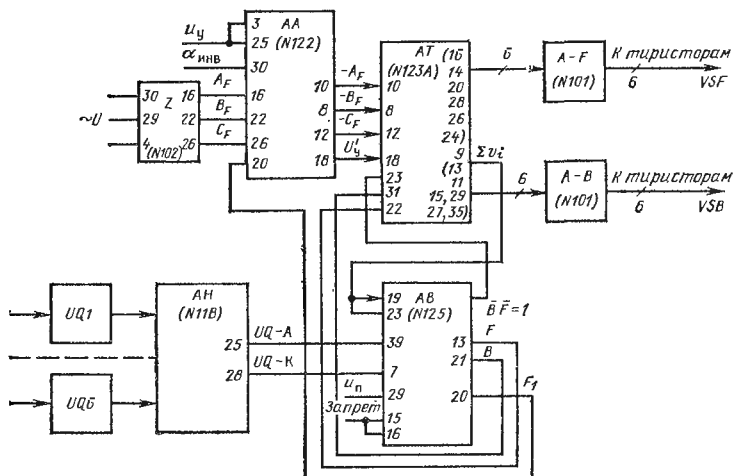


Рис. 2.22. СИФУ электропривода серии КТЭ

В ячейке АА вырабатывается напряжение $u'_y = u'_y + U_0$ или $-u_y + U_0$ в зависимости от работающего выпрямительного моста. Ячейка логики переключения АВ построена на тех же принципах, что и ячейка типа N124, и содержит элементы, размещенные в ячейке N109.

2.3.3. Системы импульсно-фазового управления преобразовательных агрегатов серии ТВ(Р)

Схема устройства фазосмещения преобразовательных агрегатов серий ТВ, ТВР изображена на рис. 2.23. В нем использованы формирователи шестифазной системы управляющих импульсов длительностью 65—80°. Для 12-пульсных схем выпрямления используются две такие системы, сдвинутые на 30°.

В блоке фильтров Z с помощью резонансных RC-фильтров из сетевого напряжения 380 В формируется система шестифазных сдвинутых на 60° напряжений, которые поступают в блок АА1. На выходе блока образуются 12 напряжений, сдвинутых на 30° с амплитудой 9,2—9,5 В, и напряжение u_A , представляющее собой 12-пульсное выпрямленное напряжение, служащее опорным для ограничения углов α_{min} , α_{max} . С выхода усилителя АА2 снимается напряжение управления u_y , определяющее угол управления α . На вход АА2 подается сигнал из системы управления u_y , и сигнал ограничения с устройства АQ.

Ячейки АЗ (по одной для каждого плеча выпрямительного моста) предназначены для формирования импульсов по длительности и их фазосмещения. Напряжение u'_y сравнивается с опорным напряжением для данного плеча компаратором АУ. При их равенстве одновибратором, вы-

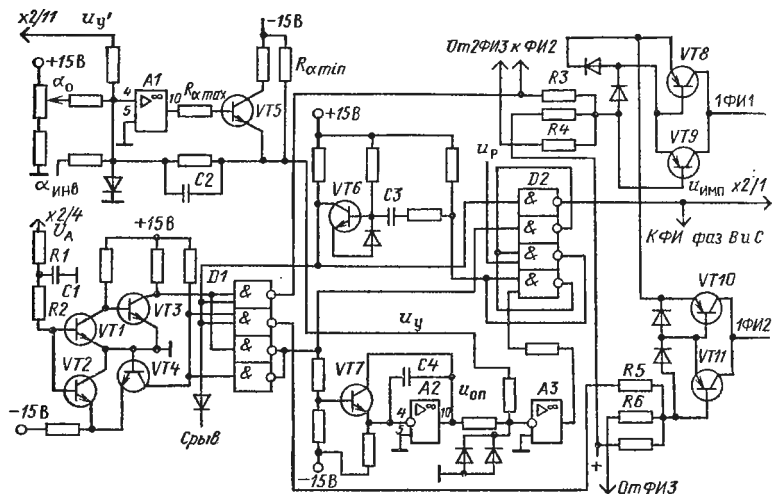


Рис. 2.25. СИФУ электропривода ЭТУ3601

В устройстве переключения выпрямительных мостов имеется нуль-орган, который определяет знак напряжения u_n , определяющего требуемый выпрямительный мост. Переключение мостов разрешается при закрытом состоянии всех тиристоров силовой схемы, что контролируется датчиком состояния тиристоров, выполненном на оптронах. Длительность бестоковой паузы — около 1 мс. После окончания паузы разрешается подача управляющих импульсов на вступающий в работу мост, одновременно переключается полярность напряжения обратной связи по току в регуляторе тока (что необходимо, так как в качестве сигнала обратной связи используется выпрямленное напряжение с трансформаторов тока), а также изменяется полярность напряжения u_y на входе СИФУ по отношению к полярности напряжения u_y на выходе регулятора тока и вырабатывается сигнал u_p .

2.4. Система защит преобразовательной части

Преобразовательная часть тиристорных электроприводов снабжается быстродействующей системой защиты, назначение которой — обнаружить аварию и локализовать ее, уменьшить ее вредные последствия. Большая часть аварий влечет за собой появление значительных токов в тех или иных элементах силовой цепи, и поэтому основное назначение защиты — ограничить рост тока в силовой цепи. Некоторые виды аварии могут вызвать выход из строя элементов схемы без увеличения тока; например, отключение принудительной вентиляции вызывает перегрев тиристоров даже при номинальном токе; некоторые элементы выходят из строя при появлении перенапряжений, в частности, приходящих

из питающей сети. К появлению больших токов приводят короткие замыкания в цепях переменного и постоянного тока, одновременная подача управляющих импульсов на тиристоры обоих выпрямительных мостов ТП, пробой тиристора, опрокидывание инвертора, выдача управляющего импульса со значительным опережением по отношению к требуемому моменту и т. д. Чаще всего эти аварии вызываются сбоями и выходом из строя элементов фазосмещающего и переключающего устройств, старением тиристоров, неисправностями в системе регулирования тока нагрузки, глубокими посадками питающих напряжений: силового, опорного, собственных нужд. Для уменьшения последствий и прекращения аварийного режима используют установку индивидуальных предохранителей к тиристорам, быстродействующих автоматических выключателей на стороне как постоянного, так и переменного тока, так называемую «сеточную» защиту, воздействующую на моменты выдачи управляющих импульсов или(и) их снятие. Схема защиты электропривода зависит от его мощности и усложняется с ростом последней.

2.4.1. Электроприводы серии КТЭУ мощностью до 2000 кВт

В этой серии защита основана на измерении тока нагрузки датчиком тока, подключенным к шунту, и переменного тока на входе выпрямителя с помощью трансформаторов тока. Предусмотрена система контроля состояния предохранителей и вентиляции.

На рис. 2.26 представлена схема контроля тока и формирования аварийных сигналов [ячейка дифференциации и индикации аварии (ДИА) типа ЯФУ0205]. Выделение аварийных сигналов осуществляется компараторами А2, А3. Переключателем SB1 выбирается режим работы защиты: дифференциальная Д или максимальная М. При установке SB1 в положение М верхняя и нижняя части схемы не связаны меж-

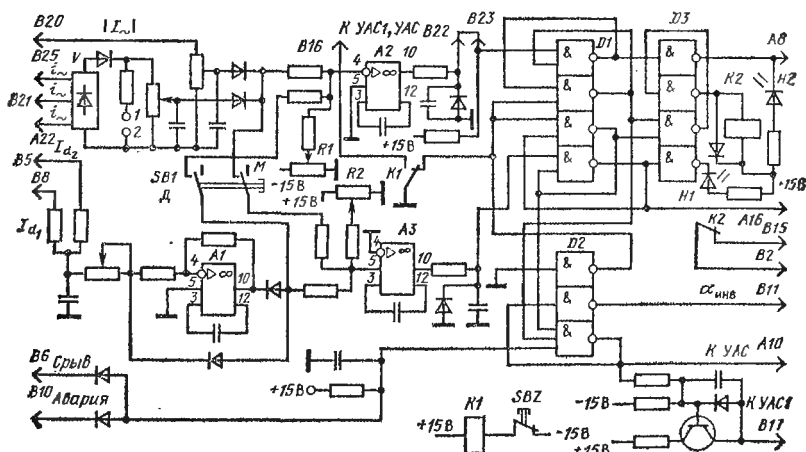


Рис. 2.26. Ячейка дифференциации и индикации аварии ЯФУ0205

ду собой. На выпрямитель V подаются напряжения со вторичных обмоток трансформатора тока через промежуточный трансформатор. На контакт $B20$ может быть подано второе, уже выпрямленное напряжение, пропорциональное модулю переменного тока. Когда напряжение сигнала, пропорционального модулю переменного тока, превысит напряжение уставки, задаваемое потенциометром $R1$, на выходе компаратора $A2$ появится логический 0, и триггер, выполненный на элементах 1 и 2 микросхемы $D1$, сработает, при этом на выходе элемента 3 микросхемы $D2$ появится логическая 1, а также включатся реле $K2$ и светочувствительный диод $H2$.

На вход компаратора $A3$ поступает модуль сигнала, пропорционального напряжению датчиков тока нагрузки. Узел выделения модуля выполнен на усилителе $A1$. Когда напряжение на входе $A3$ (отрицательной полярности) превысит напряжение уставки, задаваемой потенциометром $R2$, на выходе $A3$ появится логический 0, при этом сработает триггер, выполненный на элементах 3 и 4 микросхемы $D1$. На контакте $A10$ появится логическая 1, включатся реле $K2$ и светочувствительный диод $H1$. Сброс триггеров осуществляется нажатием кнопки $SB2$. При этом реле $K1$ отпадает и на входы элементов 2 и 3 микросхемы $D1$ подается логический 0.

При переключении $SB1$ в положение D на входах компараторов $A2$, $A3$ сравниваются напряжение положительной полярности, пропорциональное $|I_{\sim}|$, и напряжение отрицательной полярности, пропорциональное $|I_a|$. При этом на выходе $A2$ появляется логический нуль при $|I_{\sim}| > |I_a|$, а на выходе $A3$ — при $|I_{\sim}| < |I_a|$, т. е. схема защиты срабатывает, если разница в токах I_a и $I_{\sim}$ превосходит допустимую, что указывает на аварийный режим. В дальнейшем работа схемы не отличается от описанной выше.

Выходные цепи ячейки используются следующим образом. Размыкающийся контакт реле $K2$ разрывает цепь готовности электропривода. Появление логического 0 на контакте $B11$ приводит к установке максимального угла инвертирования. Логический сигнал на контакте $A10$ используется для воздействия на ячейку ускоренного отключения $УАС$, а напряжение высокого уровня на контакте $B17$ — для воздействия на ячейку ускоренного отключения $УАС1$ (см. далее). При подаче логического 0 на выходы $B6$ или(и) $B10$ ячейка также вырабатывает аварийные сигналы.

Схема ячейки $УАС$ типа ЯФУ0166 приведена на рис. 2.27. При поступлении на ее вход логической 1 на вторичных обмотках трансформатора T формируется импульс напряжения, который воздействует на индукционно-динамический привод (см. разд. 6) и отключает автоматические выключатели серии ВАТ-42.

Схема ячейки $УАС1$ типа ЯФУ0203 показана на рис. 2.28. Конденсатор $C3$ заряжается до напряжения 250—280 В. При появлении положительного напряжения на управляющем электроде тиристора VS последний открывается, и конденсатор $C3$ замыкается на обмотку независимого расцепителя автоматического выключателя QF . Так как обмотка выбирается на напряжение 110 В, то отключение происходит форсированно. После разряда $C3$ ток в цепи определяется резистором $R4$, сопротивление которого намного превосходит сопротивление обмотки $QF-F$ и меньше тока удержания тиристора. При снятии напряжения с управляющего электрода тиристора он закрывается.

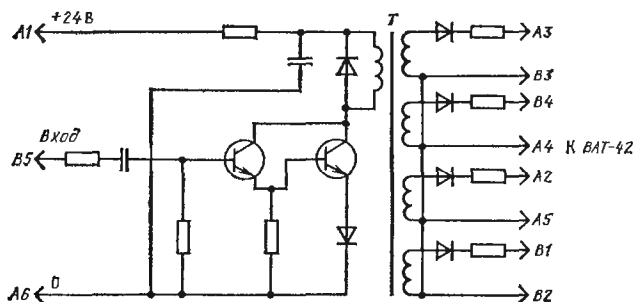


Рис. 2.27. Ячейка отключения автомата типа ЯФУ0166

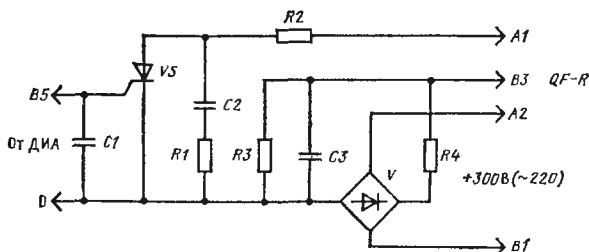


Рис. 2.28. Ячейка ускоренного отключения автомата типа ЯФУ0203

Контроль наличия напряжений собственных нужд осуществляется ячейкой КСН типа ЯФУ0204 (рис. 2.29). Ячейка обеспечивает включение реле K только при наличии напряжения во всех трех фазах, близкого к номинальному. При снижении напряжения хотя бы одной фазы закрывается стабилитрон $V3$, а затем и транзистор VT , реле K отключается, тиристор $VS3$ закрывается. Тиристор $VS3$ откроется только после повышения напряжения выше уровня, определяемого стабилитронами $V1, V2$. Конденсатор C служит для задержки включения реле K на время, необходимое для зарядки конденсаторов фильтров, установленных в ячейках управления.

Узел контроля сгорания допустимого числа предохранителей в одном плече силовой схемы (рис. 2.30) состоит из резисторно-контактных узлов, находящихся в силовых блоках (в вентильной секции CB) и ячеек контроля предохранителей (ЯКП) типа ЯФУ0207 или ЯФУ0211 в шкафу управления.

Каждый силовой блок содержит сигнальную цепочку, состоящую из высокоточного резистора R_n и включенного с ним последовательно замыкающегося вспомогательного контакта силового предохранителя $1F1-1Fn$. Все цепочки одного плеча силовой схемы соединяются в параллель и подключаются к стабилизированному источнику $+15 В$, а общая точка вспомогательных контактов — к соответствующему входу

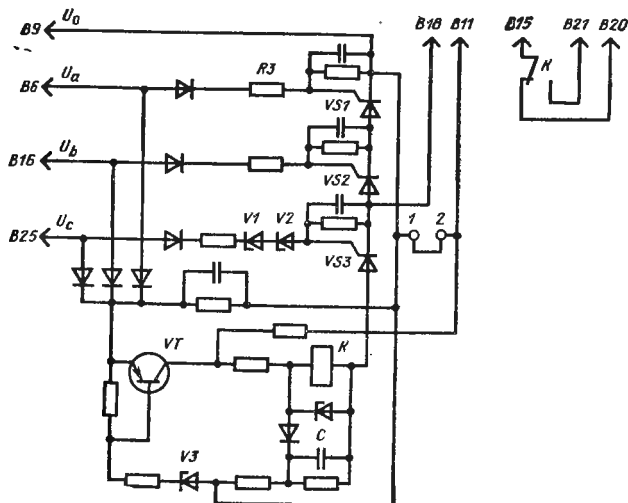


Рис. 2.29. Ячейка контроля напряжения собственных нужд типа ЯФУ0204

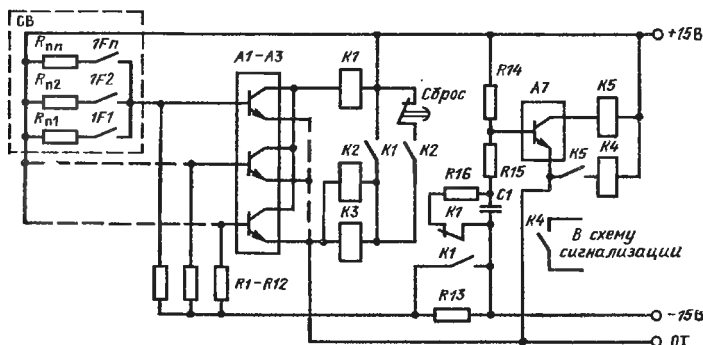


Рис. 2.30. Схема контроля силовых предохранителей электроприводов серии КТЭУ

транзисторного ключа, собранного на микросхемах (A1—A3). Двенадцать ключей (по числу контролируемых плеч) объединены общей нагрузкой (реле K1) в коллекторной цепи. К базе каждого из 12 транзисторов-ключей подключены вспомогательные контакты предохранителей, относящиеся к одному плечу силовой схемы, и через высокоточные резисторы R1—R12 и общий для всех ключей резистор R13 запирающее напряжение от стабилизированного источника —15 В.

При сгорании предохранителя замыкается его вспомогательный контакт, в результате чего в базу соответствующего транзистора начинает поступать отпирающий ток от источника $+15\text{ В}$. Ток прямо пропорционален числу сгоревших предохранителей в плече. При выходе из строя одного (или двух — в зависимости от $R13$) предохранителя открывается соответствующий транзистор и включается реле $K1$, которое, в свою очередь, через свой замыкающий контакт включает реле $K2$ и $K3$. Одним своим замыкающим контактом $K2$ шунтирует контакт $K1$, тем самым «запоминая» включенное состояние $K2$ и $K3$, вспомогательные контакты которых используются для целей сигнализации и для запуска схемы задержки аварийного сигнала в ячейке реле времени (ЯРВ). Второй замыкающий контакт $K1$ шунтирует резистор $R13$, что приводит к увеличению тока подпора, запиранию транзистора и отключению реле $K1$.

На базе микросхемы $A7$ и реле $K5$ собрана схема, формирующая аварийный сигнал. В исходном состоянии ток подпора от источника -15 В (через резисторы $R15$, $R16$) превышает отпирающий ток от источника $+15\text{ В}$ (через резистор $R14$), при этом транзистор закрыт и реле $K5$ отключено. Благодаря элементу задержки — конденсатору $C1$, время заряда которого превышает время включения — отключения $K1$, за время кратковременного включения $K1$ схема не успевает сработать. Резистор $R16$ ограничивает ток разряда конденсатора. При выходе из строя двух(трех) предохранителей в плече отпирающий ток возрастает до уровня, достаточного для поддержания транзисторного ключа в открытом состоянии. При этом реле $K1$ будет постоянно включено, что, в свою очередь, приведет к включению $K5$ и отключению реле $K4$, вспомогательные контакты которых используются в цепях сигнализации, а также в цепях, формирующих аварийный сигнал для устройства защиты.

Схема задержки аварийного сигнала (ячейка ЯРВ) типа ЯФУ0206 приведена на рис. 2.31. На вход ячейки поступают сигналы о неисправ-

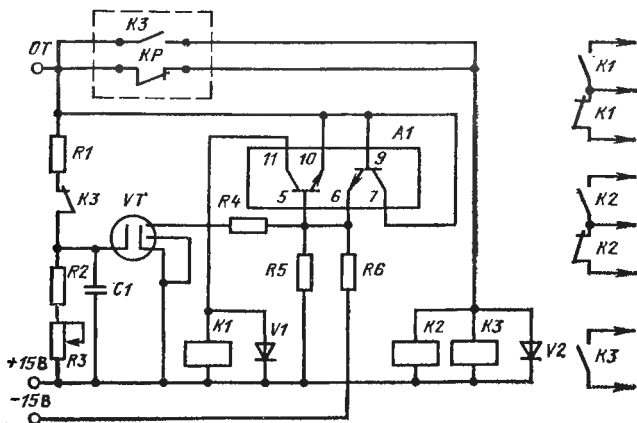


Рис. 2.31. Ячейка реле времени ЯФУ0206

ности системы вентиляции (реле KP) или о сгорании двух предохранителей в одном плече силовой схемы.

В исходном состоянии реле $K2$ и $K3$ отключены, а конденсатор $C1$ (через замыкающий контакт $K3$ и резистор $R1$) заряжен относительно общей точки OT до напряжения, близкого к напряжению питания $+15$ В, при этом полевой транзистор VT открыт, сток подключен к входу транзисторного ключа, собранного на базе микросхемы $A1$. Транзисторный ключ выполнен по схеме с общим эмиттером и током истока полевого транзистора удерживается в открытом состоянии. Реле $K1$, являющееся коллекторной нагрузкой транзистора, находится во включенном состоянии.

При исчезновении потока охлаждающего воздуха (реле KP) или сгорании двух предохранителей в плече (реле $K3$) на вход ЯРВ подается потенциал общей точки OT системы питания, что приводит к включению реле $K2$ и $K3$, вспомогательные контакты которых используются в цепях сигнализации. Размыкающий контакт реле $K3$ разрывает также цепь заряда конденсатора $C1$, который начинает разряжаться через резисторы $R2$ и $R3$. Значения сопротивлений резисторов и емкостей конденсатора выбраны таким образом, чтобы время разряда конденсатора до напряжения отсечки (4,2 В) на затворе полевого транзистора составило примерно 5 мин, при этом полевой транзистор закрывается и закрывает, в свою очередь, транзистор-ключ. Реле $K1$ обесточивается и изменяет состояние своих контактов, которые используются в цепях защиты.

Потенциометром $R3$ настраивается время задержки.

2.4.2. Электроприводы серии КТЭУ мощностью 1000—12 000 кВт

Защита преобразовательной части этих электроприводов строится по тем же принципам, что и приводов мощностью до 2000 кВт, но в связи с большей сложностью и ответственностью этой серии в систему защит введены дополнительные узлы, способствующие распознаванию аварии на более ранней стадии и увеличивающие живучесть электропривода.

Структура токовых защит для 12-пульсной реверсивной схемы показана на рис. 2.32. Она выполнена на ранее рассмотренных ячейках ДИА, УАС, КСН, а также на ячейках контроля тока (КТ), логической обработки (ЛО), контроля коммутации (ИНК).

Пороговые устройства (компараторы) $TN1$ — $TN4$ формируют логические сигналы превышения входным сигналом заданного уровня. На выходе элемента $D2$ формируется логический 0 либо при неравенстве выпрямленных токов тиристорных мостов, либо при превышении током на входе ТП $i_{\sim}$ значения постоянного тока ($i_{\sim} = I_{d1} + I_{d2}$). Такие явления могут иметь место кратковременно, например, при пробое тиристора с последующим его отключением предохранителем. Для уменьшения числа отключений электропривода используется автоматическое повторное включение (АПВ). При появлении аварийной ситуации импульсы по сигналу $\alpha_{лив}$ кратковременно переводят ТП в инверторный режим. Если авария не прекратилась или же повторилась в течение 0,5 с, то формируется сигнал постоянной аварии и взводится триггер T , который через элементы $D3$, $D4$ переводит ТП в инверторный режим и через ячейку УАС отключает автоматический выключатель QF . Сигналы ос-

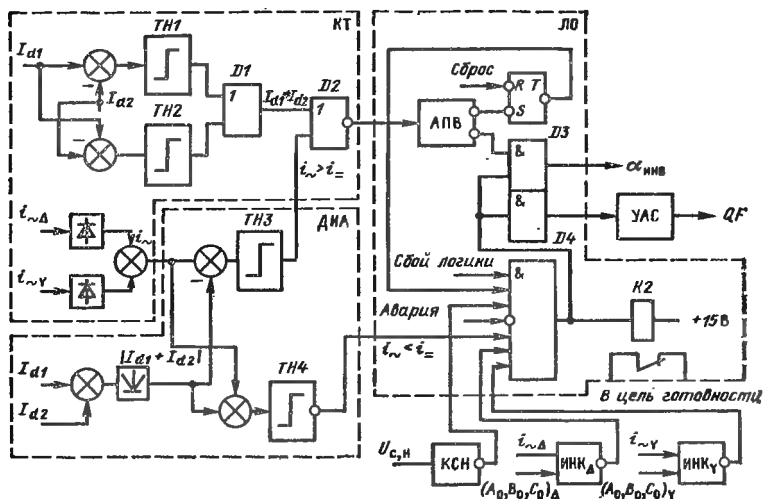


Рис. 2.32. Схема токовых защит преобразовательной части электропривода серии КТЭУ мощностью 1000—12 000 кВт

тальных аварий также воздействуют на элемент $D3$ через элемент $D4$. В частности, отключение QF происходит по сигналу несостоявшейся коммутации от ячеек ИНК (типа ЯФУ0076), схема которой приведена на рис. 2.33. В ячейке выявляется факт проводимости тиристоров в запрещенной для данного тиристора зоне, например, при прорыве инвертора. Если принять, что α_{max} составляет 180° , а угол проводимости тиристора 120° , то запрещенной зоной является интервал от 300 до 360° , отсчитываемый от точки естественного отпирания.

В схеме для определения запрещенных областей используются сформированные в схеме СИФУ сигналы ограничения A_0 , B_0 , C_0 длительностью 180° . Например, запрещенная область для тиристора $+A$ находится из условия $\bar{A}_0 \bar{B}_0 = 1$. Факт проводимости тиристоров определяется по падению напряжения на резисторах, включенных в звезду в цепи вторичной обмотки промежуточного трансформатора, первичная обмотка которого подключена ко вторичным обмоткам трансформаторов тока.

Полярность протекающего через резистор тока определяет анодную или катодную группу. Этот ток нуль-органами $AU1—AU6$ преобразуется в логический сигнал. Определение попадания в запрещенную точку осуществляется микросхемами $D2—D4$ и фиксируется триггером $D5$.

В заключение отметим, что структура защит в серии ЭКТ зависит от мощности электропривода. При $I_{ном}$ не более 500 А используются герконные реле, а для электроприводов большей мощности структура защит близка к изображенной на рис. 2.32 (но для 6-пульсной схемы). Так как элементы системы управления в серии ЭКТ размещаются на печатной плате больших размеров, то ячейка защиты содержит узлы,

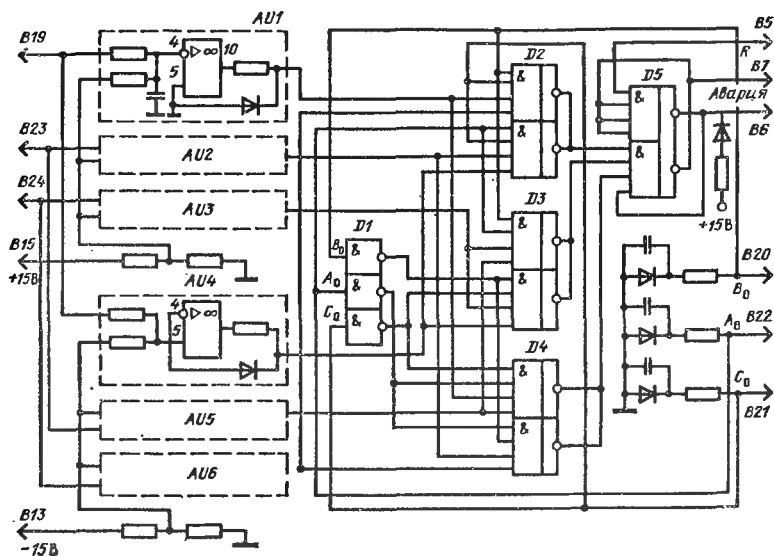


Рис. 2.33. Схема ячейки контроля коммутации типа ЯФУ0076

в серии КТЭУ находящиеся в ячейках КТ, ДИА, ЛО и ИНК (см. рис. 2.32), без узла АПВ, который в серии ЭКТ не применяется; дифференциальная защита тиристорных мостов (элементы $ТН1$, $ТН2$ на рис. 2.32) заменена максимальной защитой по постоянному току с помощью одного компаратора.

2.4.3. Электроприводы серии КТЭ и преобразовательные агрегаты серии ТПП1

Особенностью построения защиты ТП этих серий является применение герконных реле, магнитное поле в которых пропорционально току нагрузки, протекающему по входным шинам выпрямительных мостов, а также использование датчиков проводимости тиристорных мостов для анализа аварийных режимов (в серии ТПП1). Для агрегатов ТПП1 предусмотрены следующие виды защит: от аномальных режимов в сети собственных нужд, опрокидывания инвертора, возникновения уравнительного тока, превышения мгновенного значения тока нагрузки, выхода из строя двух и более параллельных ветвей в одном плече выпрямительного моста, исчезновения потока охлаждающего воздуха, перегрузок при перегорании предохранителей в выходных усилителях типа NI01, перенапряжений.

Структурная схема защит приведена на рис. 2.34. Ее основой является ячейка аварийного состояния $АФ1$, упрощенная схема которой изображена на рис. 2.35.

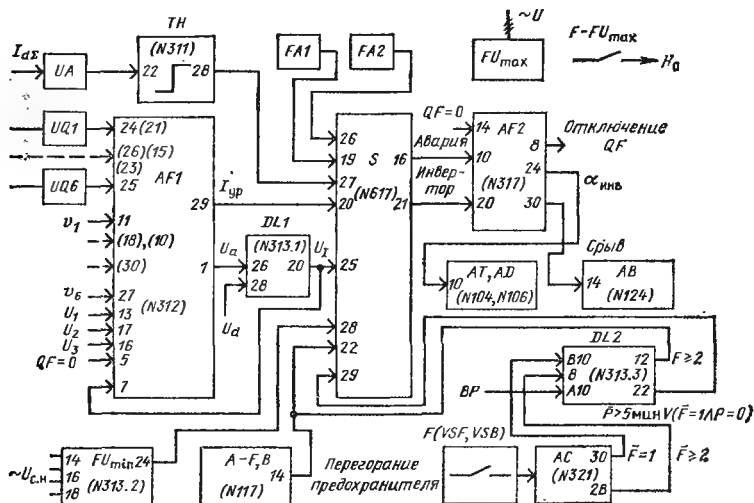


Рис. 2.34. Структура защит преобразовательных агрегатов серии ТПП1

На вход S триггеров $T1-T6$ поступают управляющие импульсы соответствующих тиристоров $V1-V6$. Триггеры сбрасываются при закрывании этих тиристоров, т.е. если тиристор открыт, то на выходе триггера логическая 1. Схема выделения запрещенных зон по логическим сигналам U_1-U_3 определяет для каждого тиристора его запрещенную зону от 300 до 360° , отсчитываемую от момента естественного отпирания [аналогично току, как это выполнено в ячейке ЯФУ0076 (см. рис. 2.33)]. На выходах элементов $D1-D6$ формируется логический 0, если тиристор открыт в запрещенной зоне. На выходе элемента $D11$ при этом формируется логический 0 (сигнал U_a).

Если все тиристоры анодной или катодной группы проводят ток, то на выходе элемента $D10$ формируется логический 0 (сигнал I_{yp}). При подаче логического 0 на контакт 7 на выходе усилителя $A1$ или $A2$ появляется логический 0 длительно, определяемой параметрами S и R , что приводит к формированию внеочередных отпирающих импульсов на всех тиристорах данной группы (анодной или катодной).

Аварийный сигнал I_{yp} поступает непосредственно на ячейку памяти (см. рис. 2.34), где формируется сигнал аварии (ячейки $N617$, $N501A$, $N311$, $N317$ рассмотрены в разд. 7). Сигнал U_a поступает на узел задержки $DL1$; значение задержки зависит от напряжения ТП U_d и уменьшается с увеличением U_d [12]. Сигнал опрокидывания инвертора U_i , который появляется на выходе $DL1$ спустя время задержки, запоминается и воздействует на вход ячейки $AF1$ для формирования внеочередных отпирающих импульсов, благодаря которым двухфазное опрокидывание инвертора превращается в однофазное, которое легче по протеканию аварийного режима.

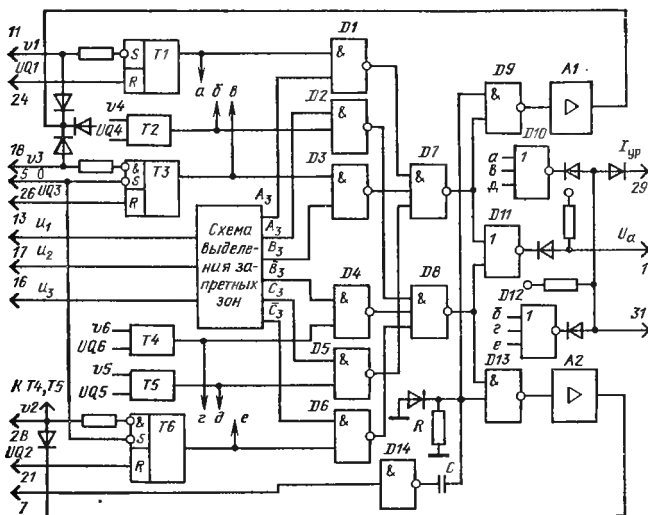


Рис. 2.35. Ячейка защиты N312

Защита при превышении мгновенного значения тока осуществляется с помощью датчика тока UA , подключенного к шунту и измеряющего суммарный ток нагрузки, а также герконных датчиков $FA1$, $FA2$, измеряющих токи выпрямительных мостов VSF и VSB . Пороговый элемент TH датчика тока UA срабатывает при $I_d = 2,65 I_{\text{ном}}$, аварийные сигналы запоминаются в ячейке S . Защита от аномальных режимов в цепи собственных нужд осуществляется с помощью ячейки N313.2 (узел 2). Узел содержит выпрямитель, компаратор с регулируемым напряжением срабатывания и линию задержки, служащую для отстройки от коммутационных искажений. При недопустимом снижении напряжения собственных нужд или обрыве одной из фаз на выходе узла формируется логический сигнал. Сигнал перегорания предохранителя в ячейке усиления импульсов типа N101 вырабатывается в ячейке управления и контроля типа N117.

Контроль исправности предохранителей силовой цепи осуществляется в ячейках AC (по одной на каждый выпрямительный мост), которая вырабатывает сигналы перегорания одного предохранителя в плече $F=1$ и более одного предохранителя $F \geq 2$. Эти сигналы поступают в узел 3 ячейки типа N313.3, где обрабатываются вместе с сигналом исчезновения принудительной вентиляции BP . При исчезновении принудительной вентиляции на время более 5 мин или исчезновении вентиляции и перегорании одного предохранителя вырабатывается аварийный сигнал.

При появлении сигнала *Авария* в ячейке N317 формируются логические сигналы на отключение автоматического выключателя цепи нагрузки QF и сдвига импульсов в инвертор $\alpha_{\text{инв}}$, спустя несколько милли-

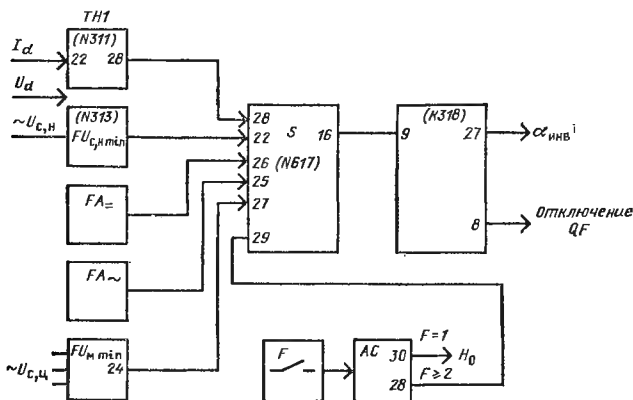


Рис. 2.36. Структура защит преобразовательной части электроприводов серии КТЭ

секунд после которого подается сигнал на срыв импульсов. При опрокидывании инвертора воздействие на управляющие импульсы не выполняется.

Блок защиты от перенапряжений FU_{max} содержит защитные предохранители F , при перегорании которых вырабатывается предупреждающий сигнал.

Для электроприводов серии КТЭ схема защиты упрощена (рис. 2.36). Максимально-токовая защита осуществляется герконными реле, установленными на шинах постоянного и переменного тока $FA=$, $FA\sim$, датчиком выпрямленного тока I_d , который воздействует на схему защиты через пороговый элемент $TH1$, а также максимальными расцепителями автоматических выключателей серии АЗ700. Аварийные сигналы запоминаются в ячейке памяти S и через нее воздействуют на отключение автоматического выключателя QF и сдвиг импульсов в инвертор.

Защита срабатывает также при неисправностях в системе питания собственных нужд, при недопустимых посадках напряжения силовой цепи $U_{c,д}$ при перегорании двух предохранителей в плече. При перегорании одного предохранителя срабатывает предупреждающая сигнализация H_0 .

Раздел 3

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

3.1. Общие сведения

Системы управления обеспечивают требуемые характеристики электропривода. Они состоят из аналоговых или цифровых регуляторов, изменяющих с необходимой точностью по заданному закону основную координату электропривода и ограничивающих допустимые значения

промежуточных координат, логических систем, служащих для управления режимами электропривода, сигнализации и защиты. Системы управления по сигналам заданного значения основной координаты, сигналам состояния защит электропривода и оперативным, характеризующим требуемые режимы работы, формируют выходные сигналы в ТП и в силовую схему электропривода: напряжение управления СИФУ, сигнал, определяющий работающий выпрямительный мост для реверсивных электроприводов, и сигналы о включенном или отключенном состоянии силовых аппаратов главной цепи.

В зависимости от выполняемых функций основного регулятора электроприводы делятся на электроприводы:

- 1) с регуляторами скорости двигателя;
- 2) с регуляторами ЭДС или напряжения электродвигателя;
- 3) с регуляторами положения исполнительного органа (или вала электродвигателя);
- 4) с регуляторами взаимного положения двух или нескольких исполнительных органов, приводимых отдельными электродвигателями;
- 5) с регуляторами тока;
- 6) с регуляторами мощности (как правило, для размоточно-намоточных механизмов).

По способу управления потоком возбуждения электродвигателя можно выделить электроприводы с постоянным потоком — однозонные и с изменяющимся потоком — двухзонные.

В зависимости от использованной элементной базы системы управления выполняются аналоговыми, цифровыми и цифро-аналоговыми. Наибольшее распространение в настоящее время получили аналоговые системы.

Для получения высокой точности отработки задания используются цифро-аналоговые системы. На базе цифровой техники в этом случае выполняется регулятор основной координаты, а также, возможно, нескольких промежуточных. Часто цифровые системы реализуются на основе микропроцессоров.

Системы управления могут выполняться с последовательной коррекцией или с параллельной коррекцией параметров. Преимущественное распространение в СССР и за рубежом получили системы, построенные на принципах подчиненного регулирования параметров с последовательной коррекцией.

Системы управления электроприводами средней и большой мощности, изготавливаемых заводами ХЭМЗ и «Преобразователь» для широкого применения в металлургической, горнодобывающей и других отраслях промышленности, имеют следующие технические данные:

диапазон регулирования скорости для электроприводов с регуляторами скорости — не менее 50 : 1, для электроприводов с регуляторами ЭДС или напряжения — не менее 20 : 1;

погрешность стабилизации скорости в статическом режиме при изменении температуры окружающей среды от 1 до 40 °С и изменении напряжения питающей сети на $\pm 10\%$ номинального значения для электроприводов с регуляторами скорости — не более 1 %;

погрешность стабилизации скорости при изменении нагрузки от нуля до номинальной — не более 0,1—0,2 % при применении тахогенераторов с малыми пульсациями, например типов ПТ и ТТ;

быстродействие системы регулирования скорости — время первого согласования при скачке небольшого задания скорости (без выхода на токоограничение) — не более 60 мс;

время реверса тока для реверсивных электроприводов с отдельным управлением — не более 30 мс;

наличие возможности изменения и стабилизации заданного значения ускорения или замедления электродвигателя с погрешностью не хуже 5 %;

наличие возможности ограничения скорости нарастания тока в якоре электродвигателя без изменения быстродействия контура тока;

установка токоограничения для двухзонных электроприводов при необходимости изменяется в функции скорости;

полный диапазон изменения магнитного потока для двухзонных электроприводов обеспечивается при изменении ЭДС электродвигателя в процентах номинального значения: в статическом режиме — не более 1 %, в динамическом режиме — не более 3 % при продолжительности разгона в зоне изменения потока 1 с и более;

погрешность обработки положения исполнительного органа механизма, обусловленная электрической частью электропривода, в электроприводах с регуляторами положения при измерении рассогласования с помощью сельсинной измерительной системы с учетом температурного дрейфа и без учета погрешности датчика положения в процентах максимального напряжения на выходе фазочувствительного усилителя — не более 0,3 % (для электроприводов с цифровыми измерителями рассогласования погрешность обработки положения определяется типом измерителя);

время обработки скачка задания на входе пропорционального регулятора положения без ограничения тока — не более 0,25 с;

диапазон изменения заданного значения статического тока для электроприводов с регуляторами тока и мощности — не менее 10 : 1;

погрешность регулирования тока для таких электроприводов в процентах к номинальному значению: в статическом режиме — не более 1,5 %, в динамическом режиме — не более 5 %.

Технические данные специальных электроприводов могут отличаться от приведенных. Например, электроприводы бумагоделательных машин, листовых и редуцированных станов горячей прокатки имеют погрешность стабилизации скорости при изменении нагрузки, а также при действии других факторов не более 0,05—0,1 %. Электроприводы серий ЭТ6 и ЭТУ3601 рассчитаны на диапазон изменения скорости 1 : 10⁴, при этом обеспечивается следующая погрешность стабилизации скорости, %, по отношению к установленной скорости при изменении нагрузки от 0,15 до 1,0 номинального значения:

$\omega_{ном}$	$\pm 0,5$
0,01 $\omega_{ном}$	$\pm 2 (5)$
10 ⁻⁴ $\omega_{ном}$	$\pm 10 (15)$

Значения в скобках относятся к электроприводам серии ЭТУ3601.

Электроприводы серии ЭПУ1, предназначенные для привода подач, обеспечивают диапазон регулирования скорости 1 : 10⁴ при минимальной частоте вращения 0,1 об/мин. Полоса пропускания замкнутой по скоро-

сти системы регулирования при амплитуде сигнала задания 0,1 В составляет 35 Гц. Изменение скорости при набросе и сбросе нагрузки $0,5M_{ном}$ относительно уровня $0,5M_{ном}$ при $\omega=0,001\omega_{ном}$ не превышает 100 %, а время восстановления скорости 0,15 с. Суммарная погрешность скорости, %, относительно установленной, вызванная изменениями нагрузки, напряжения сети и температуры окружающей среды, составляет:

ω_{max}	0,5 (2)
$0,5 \omega_{max}$	2
$0,1 \omega_{max}$	2,5 (10)
$0,01 \omega_{max}$	5 (15)
$10^{-3} \omega_{max}$	15 (25)
$10^{-4} \omega_{max}$	25

В скобках приведены данные для электроприводов главного движения при наличии обратной связи по скорости. Для таких электроприводов полоса пропускания замкнутого контура 20 Гц. Для электроприводов, замкнутых по ЭДС, суммарная погрешность скорости не превышает 0,1 $\omega_{ном}$.

Электроприводы серии ЭПУ2, замкнутые по скорости, обеспечивают полосу пропускания 10 Гц, а время восстановления скорости при набросе нагрузки $0,5M_{ном}$ не превышает 0,4 с. Диапазон регулирования скорости 1 : 10³, причем суммарная погрешность скорости при $\omega=\omega_{ном}$ не превышает 3 %. Для электроприводов, замкнутых по ЭДС, диапазон регулирования скорости для неревверсивных электроприводов 50 : 1 и реверсивных 20 : 1, причем суммарная погрешность скорости не превышает 5 % при $\omega=\omega_{ном}$.

Электроприводы типа ЭТП, предназначенные для главного движения металлорежущих станков и имеющие мощность до 30 кВт, обеспечивают диапазон регулирования скорости изменением напряжения ТП 1 : 100, при этом при изменении нагрузки от нуля до номинальной погрешность стабилизации скорости не превышает 2 % установленной скорости при $\omega_d=0,1\omega_{ном}$ и 5 % при $\omega_d=0,01\omega_{ном}$. Общая погрешность при одновременном изменении температуры окружающей среды на 25 °С, напряжения питающей сети в пределах ± 10 % и изменении нагрузки на $\pm 0,4$ номинального значения не превышает 5 % при $\omega_d=0,1\omega_{ном}$ и 15 % при $\omega_d=0,01\omega_{ном}$. Время восстановления скорости при набросе нагрузки не превышает 0,5 с.

Логическая часть электропривода обеспечивает:

прием и обработку сигналов защиты ТП;

защиту электропривода от превышения нагрузки и скорости электродвигателя, возникающих при исчезновении тока возбуждения;

защиту при перегрузке обмотки возбуждения двигателя по току;

защиту ТП и электродвигателя при переапряжении на якоре последнего;

защиту при превышении скорости электродвигателя и срабатывании центробежного реле;

защиту от включения ТП на вращающийся электродвигатель;

защиту от перегрузки двигателя при $I_{дв} > I_{дв, max}$;

защиту от перегрузки двигателя при $I_{дв} > I_{дв, ном}$ в течение заданного времени, настраиваемого в пределах 1—20 с;

прием и обработку сигналов задания от ступенчатых (контактных) и бесконтактных командоаппаратов;

ограничение крайних перемещений исполнительного органа механизма;

оперативное управление автоматическими выключателями и линейным контактором в силовой цепи;

управление динамическим торможением и электромеханическим тормозом;

сигнализацию срабатывания защит.

3.2. Основные узлы систем управления

3.2.1. Условные обозначения

Системы управления строятся из аналоговых элементов, описанных в разд. 7. Эти элементы объединяются в функциональные узлы, решающие определенные задачи, многие из которых повторяются в различных по своему назначению системах управления. Рассмотрим структурные схемы основных из них.

При описании структурных схем используются различные условные обозначения. Например, каждый узел может изображаться блоком (прямоугольником) с указанием передаточной функции этого узла. Такое обозначение удобно, если схема используется для расчета динамических характеристик системы. Широкое распространение получил также способ изображения, при котором внутри каждого блока указывается переходная характеристика узла — реакция на ступенчатый скачок задания. При такой системе условных обозначений легко понять общие принципы работы системы управления, однако схемы самих узлов остаются нераскрытыми, на них отсутствуют важные элементы, определяющие работу схемы, по этой схеме нельзя выполнить расчет элементов системы управления. Возможно также изображать структурные схемы состоящими из операционных усилителей (ОУ), являющихся основой любой современной системы управления, и элементов их прямых и обратных связей (так называемых «обвязок»). При этом по своей информативности структурные схемы приближаются к принципиальным электрическим, однако оказываются слишком громоздкими.

Далее будет использован, как правило, комбинированный способ условных обозначений, при котором основной узел изображается состоящим из образующих его ОУ с их обратными связями. При этом схема ОУ представляется в упрощенном виде, при котором цепи установки нуля и питания, корректирующие конденсаторы, защитные диоды, контактные соединения не показываются. Последовательно соединенные резисторы заменяются одним, второстепенные узлы изображаются в виде блоков (табл. 3.1). В некоторых случаях будут использованы другие обозначения с указанием передаточных функций узлов или их статических и переходных характеристик.

Условные обозначения параметров системы управления:

$k_{т,п}$ — коэффициент усиления ТП, В/В;

$k_{д,т}$ — коэффициент усиления датчика тока, В/А;

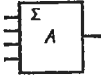
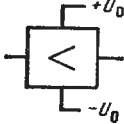
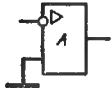
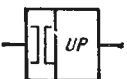
T_1 — постоянная интегрирования контура тока, с;

$\omega_{ср,т} = 1/T_1$ — частота среза контура тока, с⁻¹;

$R_{я}$ — полное сопротивление цепи якоря двигателя, Ом;

$R_{дв}$ — сопротивление участка цепи якоря, с которого снимается обратная связь по напряжению, Ом;

Т а б л и ц а 3.1. Условные обозначения узлов (блоков)

Наименование узла (блока)	Условное обозначение
Регулятор тока	
Регулятор скорости	
Устройство ступенчатого задания скорости	
Суммирующий усилитель	
Устройство ограничения (включаемое в обратную связь ОУ)	
Операционный усилитель	
Задатчик интенсивности	
Датчик тока	
Датчик напряжения	
Гальванический разделитель	

Продолжение табл. 31

Наименование узла (блока)	Условное обозначение
Нуль-орган, компаратор	
Бесконтактный ключ	
Генератор пилообразных колебаний	
Функциональный преобразователь	
Усилитель-инвертор	
Устройство умножения	
Устройство деления	
Фазочувствительный выпрямитель, демодулятор	
Модулятор	

Продолжение

Наименование узла (блока)	Условное обозначение
Преобразователь код — напряжение	
Преобразователь напряжение — код	

- $I_{\text{ном}}$ — номинальный ток якоря двигателя, А;
 E_{d0} — максимальная выпрямленная ЭДС ТП, В;
 $y = R_{\text{я}} I_{\text{ном}} / E_{d0}$ — относительное сопротивление цепи якоря;
 $L_{\text{я}}$ — полная индуктивность цепи якоря, Гн;
 $L_{\text{дв}}$ — индуктивность участка цепи, с которого снимается связь по напряжению, Гн;
 $T_{\text{я}} = L_{\text{я}} / R_{\text{я}}$, $T_{\text{дв}} = L_{\text{дв}} / R_{\text{дв}}$ — электромагнитные постоянные времени якорной цепи и якоря двигателя, с;
 $T_{\text{м}}$ — электромеханическая постоянная времени при номинальном потоке возбуждения, с;
 Φ — поток возбуждения двигателя, Вб;
 $\Phi_{\text{ном}}$ — номинальное значение потока, Вб;
 T_{Σ} — сумма некомпенсируемых постоянных времени в контуре;
 $k_{\text{д,н}}$ — коэффициент передачи датчика напряжения, $k_{\text{д,н}} = U_{\text{д,н}} / U_{\text{дв}}$;
 $(di/dt)_{\text{доп}}$ — максимально допустимая скорость изменения тока, о.е./с;
 Δi_0 — изменение тока, о.е., при котором начинает работать узел ограничения di/dt ;
 α_i — коэффициент деления напряжения потенциометром R_i ;
 $T_0 = 2\pi / (m\omega_0)$, где ω_0 — круговая частота питающей сети, m — число фаз выпрямления;
 λ — угловая длительность протекания тока в режиме прерывистого тока, рад или град;
 $I_{\text{гр}}$ — значение гранично-непрерывного тока, А;
 $E_* = E / E_{d0}$ — относительное значение ЭДС двигателя;
 $U_{\text{оптmax}}$ — амплитуда опорного напряжения СИФУ, В;
 $T_{\text{в}}^0$ — постоянная времени цепи возбуждения на начальном участке, с;
 $T_{\text{в,т}}^0$ — постоянная времени контура вихревых токов на начальном участке, с;
 $T_{\text{де}}$ — постоянная времени датчика ЭДС, с;
 $U_{\text{д,с}}$ — напряжение датчика скорости, В;
 $U_{\text{де}}$ — напряжение датчика ЭДС, В;
 u_{Φ} — напряжение датчика потока, В;
 $\gamma_{\text{п}}$ — диапазон регулирования скорости воздействием на поток возбуждения;

R_B — сопротивление цепи возбуждения, Ом;

i_B — ток возбуждения двигателя, А;

α_M — коэффициент передачи устройства умножения, В⁻¹;

α_D — коэффициент передачи устройства деления, В;

k_s — коэффициент пропорциональности между перемещением исполнительного органа и интегралом от $\omega_{дв}$;

k_{us} — коэффициент передачи датчика положения, В/рад или В/м.

3.2.2. Регулятор тока якоря

Регулятор тока якоря получает на вход сигнал задания $u_{з,т}$ с выхода регулятора скорости или от какого-либо другого устройства (в специальных электроприводах), сигнал обратной связи $u_{д,т}$ с выхода датчика тока. На выходе он формирует напряжение управления u_y в СИФУ ТП, определяющее угол управления тиристоров α . Схема простейшего регулятора тока изображена на рис. 3.1. Параметры регулятора выбираются по соотношениям

$$R_2 C = T_{\pi}; \quad R_1 C = T_{\mu}; \quad T_1 = T_{\mu} R_{\pi} / k_{т,п} k_{д,т}; \quad T_1 = \omega_{ср,т}^{-1} = 2T_{\mu}, \quad (3.1)$$

причем T_{μ} равна сумме постоянных времени аналоговых элементов в контуре, фильтра на входе СИФУ и среднестатистического запаздывания ТП, равного 1,67 мс. В современных системах управления собственными постоянными времени аналоговых элементов можно пренебречь, а постоянная времени фильтра не превышает 1 мс.

Сигнал обратной связи по току снимается с шунта, установленного в главной цепи; датчик тока осуществляет гальваническое разделение цепей управления от главных цепей и усиление по напряжению.

Возможно также использование датчика тока на основе трансформаторов тока, установленных на стороне переменного тока ТП, и ключей, изменяющих полярность обратной связи при переключении выпрямительных мостов.

На регулятор тока возлагают также другие функции: ограничение скорости нарастания тока di/dt , улучшение динамики контура тока в зоне прерывистого тока, компенсация влияния ЭДС двигателя на характеристики контура, обеспечение режима стоянки электродвигателя, управление переключением выпрямительных мостов реверсивного ТП.

На рис. 3.2 показан регулятор тока электроприводов серии КТЭУ мощностью до 2000 кВт. В составе регулятора имеются усилитель А1 с ограничителем di/dt , А2 — собственно регулятор тока, А3 — внутрен-

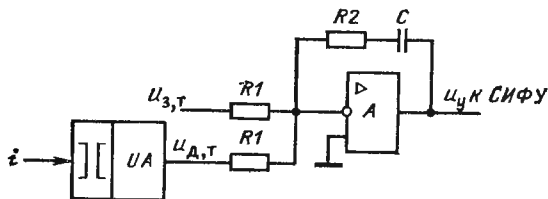


Рис. 3.1. Простейший регулятор тока

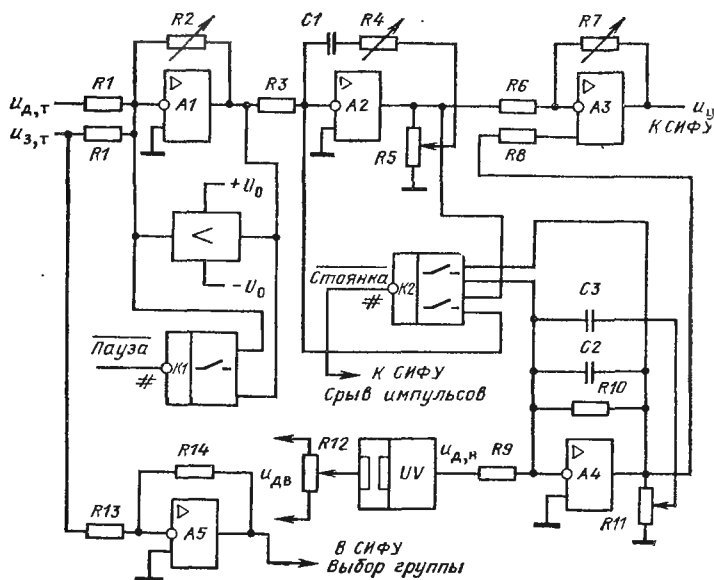


Рис. 3.2. Регулятор тока серии КТЭУ мощностью 2000 кВт:

$R_1 = R_{13} = 20$ кОм, $R_3 = 100$ кОм, $R_6 = R_8 = 10$ кОм, $R_9 = R_{10} = 100$ кОм, $R_{14} = 200$ кОм, $C_1 = C_3 = 1$ мкФ, $C_2 = 0,1$ мкФ

ний регулятор напряжения, $A4$ — апериодический фильтр в цепи обратной связи по напряжению. При замыкании ключа $K1$ на время паузы прекращается интегрирование напряжения задания тока. Ключ $K2$ замыкается при стоянке электропривода, чем обеспечивается надежная стоянка электродвигателя. Наличие контура напряжения улучшает динамику электропривода в режиме прерывистых токов ТП, так как коэффициент усиления регулятора в этом режиме возрастает в $k_H = k_{т,п} k_{д,н} (R_7/R_6) (R_{дв}/R_{л})$ раз по сравнению с режимом непрерывного тока. Передаточная функция регулятора близка к передаточной функции чистого интегратора.

Настройка регулятора должна быть выполнена по соотношениям

$$\left. \begin{aligned} R_{10} (C_2 + \alpha_{11} C_3) &= T_{дв}; \quad C_1 R_4 = T_{Я}/k_H; \quad k_H = (600 - 700) T_{Я}; \\ \omega_{ср,т} &= k_{д,т} R_2 / (C_1 R_1 R_3 R_{дв} k_{д,н} \alpha_5); \\ U_0 \omega_{ср,т} / (k_{д,т} I_{ном}) &= (di/dt)_{доп}; \\ R_2/R_1 &= U_0 / (k_{д,т} I_{ном} \Delta i_0); \quad \Delta i_0 = 0,2 - 0,4. \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Условие устойчивости в режиме прерывистого тока имеет вид (при $m=6$)

$$T_0 \omega_{ср,т} k_H < 5,0 T_{Я}/T_0. \quad (3.3)$$

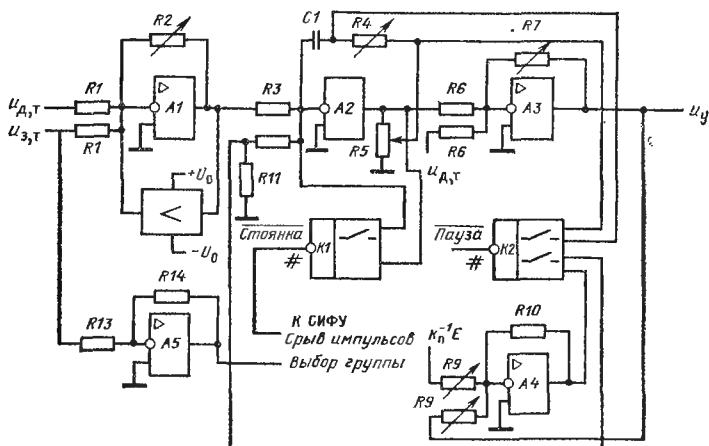


Рис. 3.3. Регулятор тока для одиомостовых ТП серии КТЭУ мощностью 1000—12 000 кВт:

$R_8 = 2,4 \text{ кОм}$; $R_{10} = 200 \text{ кОм}$, $R_{11} = 5 \text{ кОм}$, остальные данные — см. рис. 3.2

Если необходимость в улучшении динамических характеристик в режиме прерывистого тока отсутствует, то связь по напряжению исключается, при этом

$$C_1 R_4 = T_{\text{я}}, R_7/R_6 = 1;$$

$$\omega_{\text{ср,т}} = R_2 k_{\text{п}} k_{\text{д,т}} / (R_1 R_8 C_1 R_{\text{я}} \alpha_5). \quad (3.4)$$

Полярность сигнала задания тока через усилитель А5 определяет нужный выпрямительный мост, переключение на который происходит после спада тока нагрузки ТП до нуля и окончания отсчета паузы (см. разд. 2). Если же в СИФУ применяется автоколебательная логика, то выход А5 не используется.

Сигнал обратной связи формируется датчиком тока, подсоединенным к шунту.

На рис. 3.3 приведена схема регулятора тока, используемая в электроприводах серии КТЭУ мощностью 1000—12 000 кВт. В отличие от схемы рис. 3.2 внутренний контур напряжения заменен внутренним контуром тока. В режиме прерывистого тока в момент формирования очередного отпирающего импульса ток нагрузки ТП равен нулю, поэтому наличие внутренней цепи обратной связи не влияет на угол отпирания, она в этом режиме исчезает. Коэффициент усиления регулятора тока увеличивается в R_7/R_6 раз, а передаточная функция регулятора тока приближается к передаточной функции чистого интегратора. Выбор настраиваемых параметров регулятора осуществляется по соотношениям

$$\left. \begin{aligned} C_1 R_4 &= T_{\text{Я}}/k_{\text{T}}; \\ k_{\text{T}} &= (R_7/R_6) k_{\text{T,П}} k_{\text{Д,Т}}/R_{\text{Я}} = (600 \div 700) T_{\text{Я}}; \\ \omega_{\text{ср,Т}} &= R_2/(\alpha_5 C_1 R_1 R_3). \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

Сопротивления резисторов R_1 и R_2 выбираются так же, как и в схеме рис. 3.2.

В описываемую схему введен узел слежения напряжения u_{y} за значением ЭДС двигателя E во время бестоковой паузы. Смысл введения этого узла заключается в том, что в некоторых случаях, например при дрейфе нуля датчика тока или нуля-органа, фиксирующего полярность напряжения $u_{\text{з,т}}$, полярность сигнала $u_{\text{д,т}}$ на входе регулятора может не соответствовать истинной полярности тока, что вызовет накопление сигнала на выходе интегратора $A2$ в направлении записания работающего моста ТП. После переключения мостов этот сигнал будет соответствовать уже выпрямительному режиму и вызовет большие броски тока — вплоть до срабатывания защиты. Наличие узла слежения приводит напряжение u_{y} к напряжению $k_{\text{T,П}}^{-1}E$, так что накопленная до наступления паузы погрешность уменьшается до нуля.

Узел слежения состоит из усилителя $A4$, входной сигнал которого равен разности $k_{\text{T,П}}^{-1}E - u_{\text{y}}$, и ключа $K2$, который во время паузы подключает выход $A4$ на вход усилителя $A2$. Ключ $K3$ закорачивает резистор R_4 в этом режиме, что увеличивает скорость отработки рассогласования. Сопротивление резисторов R_9 выбирается из условия

$$R_{10} R_7/(\alpha_5 R_9 C_1 R_8 R_6) = (0,3 \div 1) 10^4. \quad (3.6)$$

В серии ЭКТ регулятор тока также выполнен по схеме, показанной на рис. 3.3, причем функция ограничения di/dt на усилителе $A1$ исключена. Параметры в этой схеме таковы: $R_1=R_3=40$ кОм, $R_2=5 \div 40$ кОм, $R_8=1,5$ кОм, $C_1=0,1$ мкФ. Резистор R_5 из цепи обратной связи усилителя $A2$ исключен.

Частота среза контура настраивается резистором R_2 :

$$\omega_{\text{ср,Т}} = R_2/(R_1 C_1 R_3) = 6,7 R_2, \quad (3.7)$$

где R_2 принимается в килоомах.

В этой серии электроприводов выбор выпрямительной группы в реверсивных ТП осуществляется полярностью сигнала задания тока $u_{\text{з,т}}$, а при малом значении этого сигнала в режиме прерывистого тока переключение групп осуществляется автоколебательной логикой.

Изображенная на рис. 3.3 схема регулятора применяется в нижнем по мощности отрезке серии КТЭУ 1000—12 000 кВт для одномостовых ТП. Мощные электроприводы выполняются по схеме с двумя параллельно включенными ТП, напряжения питания которых сдвинуты относительно друг друга на 30° (см. рис. 1.9). В этом случае на регулятор тока возлагается также функция выравнивания токов нагрузки параллельно включенных ТП. В рассматриваемой серии это достигается использованием двух регуляторов тока с общим сигналом задания $u_{\text{з,т}}$. Каждый регулятор получает сигнал обратной связи от «своего» ТП (рис. 3.4).

Через измерительные шунты протекают токи нагрузки одного или другого ТП в зависимости от того, какая выпрямительная группа ра-

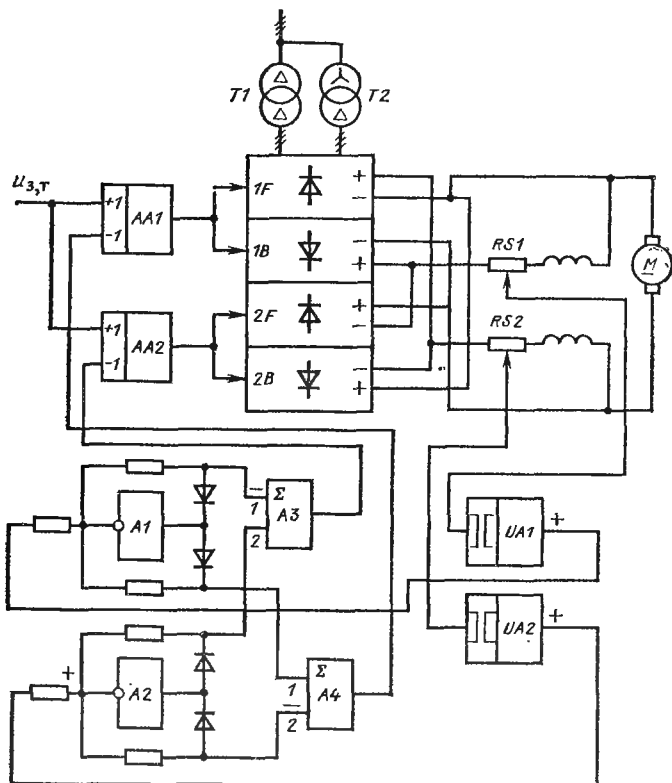


Рис. 3.4. Регулирование тока в двухмостовом ТП с параллельно соединенными мостами

ботает в данный момент. Схема регулирования содержит узлы выделения сигналов датчиков тока, собранные на усилителях $A1—A4$.

При работе мостов $1F$, $2F$ на выходах датчиков тока $UA1$, $UA2$ появляются напряжения положительной полярности, которые поступают на вход 1 сумматора $A3$ и на вход 2 сумматора $A4$, при этом по шунту $RS1$ протекает ток от группы $2F$, а по шунту $RS2$ — от группы $1F$. Таким образом, на вход регулятора $AA1$ поступает сигнал тока нагрузки от группы $1F$, а на вход регулятора $AA2$ — от группы $2F$. При работе групп $1B$, $2B$ по шунту $RS2$ протекает ток от группы $2B$, а по шунту $RS1$ — от группы $1B$. На выходах датчиков тока полярность напряжения при этом изменяется. Теперь напряжения будут поступать на вход 2 сумматора $A3$ и на вход 1 сумматора $A4$, т. е. на вход регулятора $AA1$ будет подаваться в качестве обратной связи сигнал тока нагрузки от

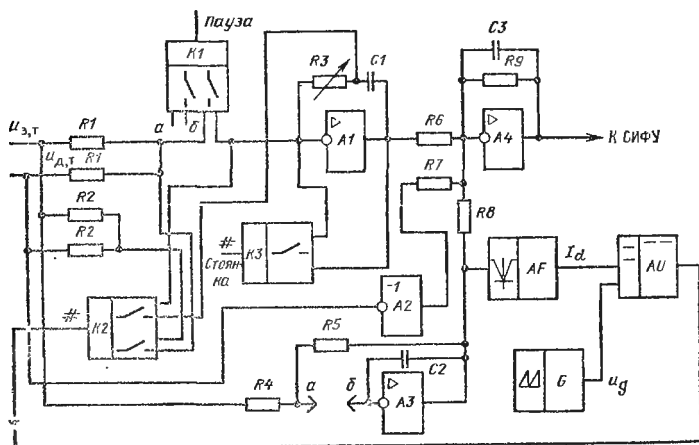


Рис. 3.5. Регулятор тока ЗПО «Преобразователь»:

$R_1=100$ кОм, $R_2=3$ кОм, $R_4=R_5=51$ кОм, $R_6=R_7=R_8=10$ кОм, $C_2=0,1$ мкФ, $C_3=0,015$ мкФ, R_3, C_1 — подбираются при наладке

группы 1В, а на вход регулятора АА2 — от группы 2В. Собственно регуляторы тока выполнены по схеме, изображенной на рис. 3.3.

На рис. 3.5 показана схема регулятора тока, используемого в серии КТЭ. Усилитель А1 является пропорционально-интегральным регулятором тока. Ключ К3 замыкается при стоянке привода, ключ К1 отключает входы регулятора во время бестоковой паузы. Аперриодическое звено, выполненное на усилителе А3, формирует сигнал эталонного переходного процесса, на усилителе А4 к сигналу выхода регулятора тока добавляется разность между сигналами эталонного и фактического переходных процессов.

Наличие эталонной модели А3 позволяет при неточной настройке параметров регулятора получить удовлетворительный переходный процесс, что упрощает наладку.

В режим прерывистого тока наличие модели также улучшает динамику контура, однако недостаточно, поэтому в регуляторе предусматривается перестройка параметров регулятора в функции среднего значения тока. Генератор G формирует пилообразные колебания u_g , которые на компараторе АУ сравниваются с модулем сигнала выхода модели, т. е. со средним значением тока I_d . Пока среднее значение сигнала тока превышает амплитуду пилообразного напряжения, компаратор АУ находится в таком состоянии, что ключ К2, включенный на его выходе, ток не пропускает. При уменьшении среднего значения тока ключ АУ открывается на промежуток времени, в течение которого $u_g > k_{д,т} I_d$, при этом ключ К2 замыкается и входное сопротивление регулятора существенно уменьшается, увеличивая тем самым коэффициент усиления регулятора. Чем меньше I_d , тем больше время, в течение которого $u_g > k_{д,т} I_d$, и тем больше коэффициент усиления регулятора. При

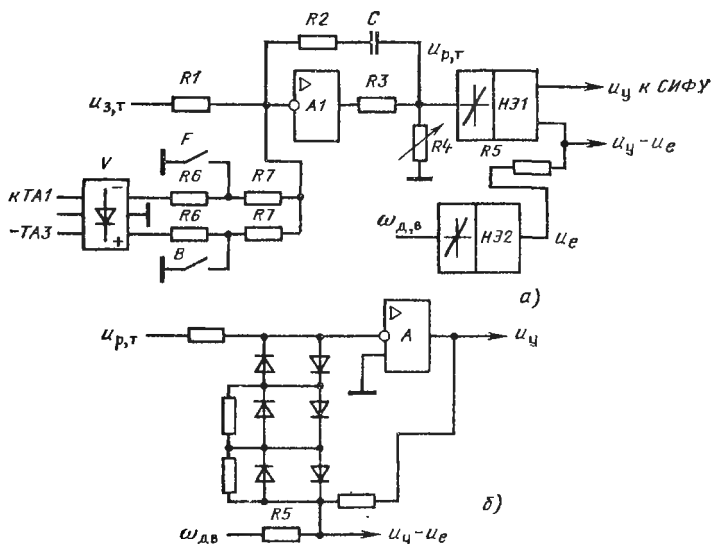


Рис. 3.6. Регулятор тока электроприводов типа ЭТУ3601:

а — структурная схема; б — схема элемента НЭ1; $R_1=47$ кОм, $R_2=4,7$ кОм, $R_3=2,7$ кОм, $R_6=20$ кОм, $R_7=36$ кОм, $C=0,47$ мкФ

замыкании ключа $K2$ усилитель $A1$ переводится в режим чистого интегратора.

На рис. 3.6 приведена схема регулятора тока, который применяется в электроприводах серии ЭТУ3601. На усилителе $A1$ собрано пропорционально-интегральное звено. Сигнал обратной связи по току формируется с помощью трансформаторов тока TA , вторичное напряжение которых выпрямляется выпрямителем V со средней точкой. На выходе выпрямителя образуются напряжения обеих полярностей, а на вход регулятора через ключи B и F подается сигнал той полярности, которая соответствует работающей выпрямительной группе. Выходное напряжение усилителя $A1$ ограничивается с помощью резистора $R4$. Когда усилитель $A1$ не насыщен, то сопротивление резистора $R4$ не влияет на выходное напряжение $A1$. Когда же $A1$ находится в насыщении, то его выходное напряжение определяется напряжением насыщения и делителем напряжения $R3-R4$.

На выходе регулятора тока включен нелинейный элемент $HЭ1$, предназначенный для линеаризации характеристик контура в режиме прерывистого тока. Характеристика этого элемента обратна регулировочной характеристике ТП и описывается соотношением [16]

$$\bar{u}_y = \bar{u}_e + \sqrt[3]{\frac{\pi}{2} \omega_0 T_{\text{я}} \bar{u}_{\text{р,т}}},$$

где $\bar{u}_y = \pi u_y / (2U_{\text{опт max}})$; $\bar{u}_e = \pi u_e / (2U_{\text{опт max}})$, $u_{\text{р,т}} = \pi u_{\text{р,т}} / (2U_{\text{опт max}})$.

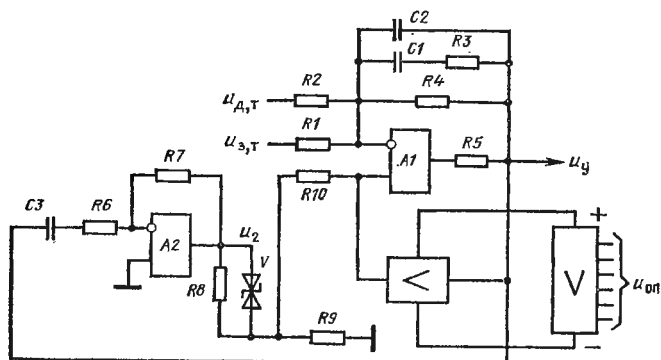


Рис. 3.7. Регулятор тока электропривода серии ЭТ6:

$R_1=R_2=2 \text{ кОм}$, $R_3=43 \text{ кОм}$, $R_4=910 \text{ кОм}$, $R_5=100 \text{ Ом}$, $R_6=15 \text{ кОм}$, $R_7=510 \text{ кОм}$,
 $R_8=10 \text{ кОм}$, $R_9=200 \text{ Ом}$, $C_1=2 \text{ мкФ}$, $C_2=C_3=0,068 \text{ мкФ}$

Нелинейный элемент $HЭ2$ преобразует напряжение тахогенератора, пропорциональное ЭДС двигателя (так как его поток возбуждения постоянен), в такое напряжение u_e , что в режиме холостого хода двигателя $u_{p,t}=0$, т. е. реализует зависимость [16]

$$\bar{u}_e = \arcsin (E/E_{d0}). \quad (3.8)$$

Реализация узла $HЭ1$ показана на рис. 3.6, б. Полярность напряжения $u_{p,t}$ определяет выпрямительный мост. Такой способ выбора группы применим благодаря введению напряжения u_e , соответствующего холостому ходу ТП, поэтому полярность $u_{p,t}$ такая же, как и требуемые направления протекания тока в нагрузке ТП.

На рис. 3.7 показан регулятор тока электропривода серии ЭТ6. В схеме регулятора конденсатор $C2$ и резистор $R4$ корректируют частотную характеристику усилителя $A1$, а резистор $R5$ защищает усилитель $A1$ от коротких замыканий. Входными напряжениями узла ограничения в обратной связи усилителя $A1$ являются опорные напряжения из схемы СИФУ $U_{оп}$, чем обеспечивается ограничение минимального угла отпирания тиристоров. Усилитель $A2$ с дифференцирующей цепочкой на входе ограничивает скорость изменения управляющего напряжения. Когда $du_{ц}/dt$ достигает такого значения, что выходное напряжение усилителя u_2 превышает пробивное напряжение стабилитрона V , напряжение u_2 оказывается приложенным к неинвертирующему входу $A1$, ограничивая скорость изменения его выхода.

Регуляторы тока электроприводов серий ЭТ3 и ЭТРП выполняются по схеме рис. 3.1, но с тем отличием, что в электроприводах серии ЭТРП, у которых предусмотрено рекуперативное торможение изменением полярности потока возбуждения, во время переходного процесса, связанного с изменением направления протекания тока возбуждения, на вход регулятора подается напряжение обратной полярности по отношению к $u_{3,t}$, при этом ТП переходит в инверторный режим и ток нагрузки спадает до нуля.

В заключение отметим, что в электроприводах серии ЭПУ1 и реверсивных электроприводах серии ЭПУ2 используется жесткая отрицательная связь по току на вход СИФУ, неререверсивные электроприводы серии ЭПУ2 с обратной связью по скорости имеют токовую отсечку, а с обратной связью по ЭДС — регулятор тока (см. рис. 3.1).

3.2.3. Регулятор тока возбуждения

Регулирование потока возбуждения Φ применяется для изменения скорости электродвигателя, его направления вращения, осуществления режима рекуперации энергии при торможении. Во втором и третьем случаях используются реверсивные тиристорные возбудители ТПВ.

Регуляторы тока возбуждения, предназначенные для изменения скорости, могут выполняться по принципам независимого или зависимого управления. При независимом управлении поток двигателя изменяется сигналом, связанным с сигналом задания скорости или напряжения. При зависимом управлении изменение потока происходит под действием регулятора скорости при изменении ЭДС или напряжения двигателя выше номинальных значений. При этом лучше используется двигатель, так как исключается его работа при ослабленном потоке в зоне напряжений на якоре двигателя ниже номинального. В современных электроприводах этот принцип получил преимущественное применение.

Регулирование возбуждения может осуществляться двух- или одноконтурными регуляторами. Двухконтурный регулятор обладает более высоким быстродействием, но реализация одноконтурного более проста.

На рис. 3.8 изображен двухконтурный регулятор, примененный в тиристорных электроприводах серии КТЭУ. Усилитель $A1$ выделяет модуль ЭДС. Усилитель $A2$ формирует сигнал разности между заданным значением E_z и $|E|$. Усилитель $A3$ является пропорционально-интегральным регулятором. Усилитель $A4$ с умножителем в цепи обратной связи реализует операцию деления входного напряжения усилителя $A3$ на скорость двигателя $\omega_{дв}$ при $\omega_{дв} > \omega_{ном}$, т. е. операцию умножения на Φ . На вход этого усилителя поступают также сигналы из схемы выравнивания нагрузок параллельно работающих двигателей (см. далее). Выход усилителя $A4$ задает значение потока возбуждения двигателя при $\Phi > \Phi_{min}$ на вход регулятора потока, реализованного на усилителе $A5$. Обратная связь регулятора формируется с помощью датчика тока возбуждения ДТВ, подключенного к шунту в цепи обмотки возбуждения двигателя, и нелинейного преобразователя AF , включенного в цепь обратной связи усилителя $A7$. Характеристика вход-выход усилителя $A7$ повторяет зависимость потока Φ от тока возбуждения i_b . Конденсатор C_3 служит для учета постоянной времени вихревых токов. Сигналы $+\Phi$, $-\Phi$ используются в системах управления электроприводом.

При отключенном автоматическом выключателе главной цепи для уменьшения нагрева двигателя его поток возбуждения снижается до значения Φ_{min} , при этом ключом $K1$ закорачиваются цепи обратных связей усилителей $A2$ и $A3$.

Параметры регулятора потока возбуждения должны удовлетворять соотношениям

$$\left. \begin{aligned} C_3 R_{14} &= T_{в,т}^0; & C_2 R_{10} &= T_{в}^0 + T_{в,т}^0; \\ \omega_{ср\Phi} &= \frac{k_{т,п,в} k_{д,т,в} R_{12} R_{14}}{\alpha_{15} C_2 R_9 R_{11} R_{13} R_{в}} = 30 \div 100. \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

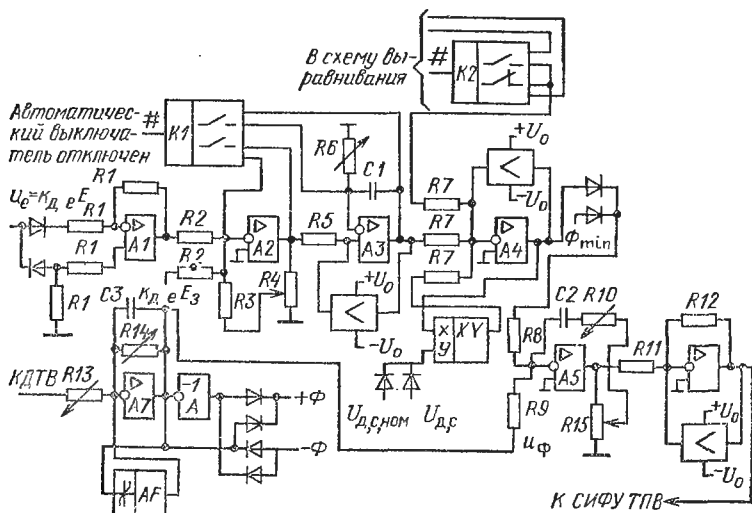


Рис. 3.8. Регулирование потока возбуждения в электроприводах ПО ХЭМЗ:

$R_1=22 \text{ кОм}$, $R_2=10 \text{ кОм}$, $R_3=188 \text{ кОм}$, $R_5=30 \text{ кОм}$, $R_7=32 \text{ кОм}$, $R_8=62 \text{ кОм}$, $R_9=100 \text{ кОм}$, $R_{11}=20 \text{ кОм}$, $R_{12}=130 \text{ кОм}$, $R_{14}=100 \text{ кОм}$, $C_1=10 \text{ мкФ}$, $C_2=C_3=1 \text{ мкФ}$

Регулятор ЭДС выполняется интегрально-пропорциональным. Постоянная времени пропорциональной части $R_6 C_1$ компенсирует большую из двух постоянных времени $\omega_{\text{ср},\Phi}^{-1}$ или $T_{\text{де}}$. Меньшая из них является некомпенсируемой и обозначается $T_{\mu\epsilon}$. Благодаря введению множительного звена коэффициент усиления системы регулирования не зависит от значения Φ .

Частота среза контура

$$\omega_{\text{сре}} = \frac{10 R_3 U_{\text{деном}}}{\alpha_4 C_1 R_2 R_6 U_{\Phi\text{ном}} U_{\text{д,с,ном}}} \quad (3.10)$$

Типовые значения: $U_{\text{деном}} = k_{\text{де}}$, $E_{\text{ном}} = 8 \text{ В}$, $U_{\Phi\text{ном}} = 10 \text{ В}$, $U_{\text{д,с,ном}} = 10/\gamma_{\text{н}} \text{ В}$. Частота среза $\omega_{\text{сре}}$ принимается равной $(0,3-0,5) T_{\mu\epsilon}^{-1}$, откуда

$$R_3/\alpha_1 R_2 = (0,37 \div 0,63)/\gamma_{\text{н}} T_{\text{де}} \omega_{\text{ср}\Phi} \quad (3.11)$$

Для выравнивания токов параллельно включенных двигателей, питающихся от одного ТП, используется схема, часть которой изображена на рис. 3.9. В ней применяются один регулятор ЭДС и два регулятора потока.

Выход усилителя А3 регулятора ЭДС (см. рис. 3.8) подается на вход усилителей А4 двух регуляторов потока. На эти же усилители через

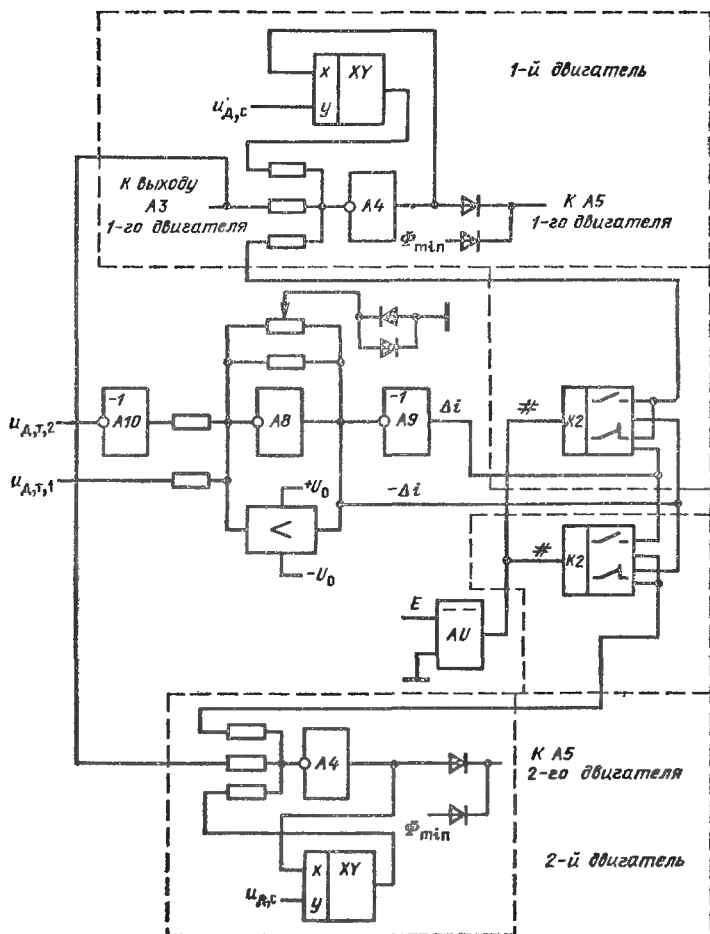


Рис. 3.9. Выравнивание токов параллельно соединенных двигателей

ключи $K2$ поступают сигналы разности токов $i_1 - i_2$ с противоположными знаками. Так как при изменении направления вращения токи нагрузки также изменяют направление, то для сохранения того же направления воздействия на потоки двигателей сигналы $\pm \Delta i$ переключаются бесконтактными реле $K2$. Логический сигнал на их переключение формируется нуль-органом, на вход которого поступает напряжение датчика скорости или ЭДС. Так как в данной схеме нуль-орган двухпозиционный, то всегда включена цепь воздействия на Φ от Δi . Это является недостатком

применения двухпозиционного нуль-органа, так как при уменьшении ЭДС интенсивность воздействия от $\Delta\Phi$ на Δi уменьшается и при малых скоростях неэффективна, поэтому целесообразно применение трехпозиционного нуль-органа, который отключает цепь выравнивания при малом значении ЭДС. Такое решение используется в модернизированной серии электроприводов ЭКТ.

На рис. 3.10 приведена схема регулирования возбуждения, примененная ЗПО «Преобразователь» в серии электроприводов мощностью до 1000 кВт для однодвигательных электроприводов. В отличие от схемы, изображенной на рис. 3.8, регулятор ЭДС принят чисто интегральным, а умножитель, расположенный в прямой цепи, умножает выход регулятора ЭДС на сигнал u_Φ , при получении которого постоянная времени вихревых токов не учитывается. Параметры регулятора определяются по формулам, аналогичным (3.9) и (3.10), причем $T_{\mu\epsilon} = \omega_{\text{ср}\Phi}^{-1} + T_{\text{де}}$. Отметим, что настраиваемыми элементами являются съемные конденсаторы C_1 и C_2 .

На рис. 3.11 показана схема одноконтурного регулирования потока возбуждения, принятая в серии ЭКТ. На усилителях $A1$, $A2$ и диодах $V2$, $V3$ выполнена схема выделения наибольшего значения из двух сигналов: $u_{\text{д,т,в}}$ и $|u_{\text{де}}|$. Масштабы датчиков выбираются таким образом, что $U_{\text{деном}} = k_{\text{д,т,в}} I_{\text{в,ном}} = U_{\text{д,т,в,ном}}$. До тех пор, пока $u_{\text{д,т,в}} > u_{\text{де}}$, на вход усилителя $A3$ проходит напряжение $u_{\text{д,т,в}}$, т. е. реализуется регулятор тока возбуждения. Когда по мере увеличения скорости $u_{\text{де}}$ становится больше $u_{\text{д,т,в}}$, на вход усилителя проходит напряжение $u_{\text{де}}$, и реализуется регулятор ЭДС. Параметры регулятора выбираются по соотношениям

$$\left. \begin{aligned} R_9 C &= T_{\text{в}}^0 + T_{\text{в,т}}^0; & U_{\text{вmin}} &= R_{\text{в}} I_{\text{вmin}}; \\ \omega_{\text{ср}\epsilon} &= \frac{\alpha_4 k_{\text{т,п,в}} U_{\text{деном}}}{R_8 C U_{\text{вmin}}} = \frac{1}{(2 \div 3) T_{\text{де}}}, \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

где ток $I_{\text{вmin}}$ соответствует угловой скорости ω_{max} .

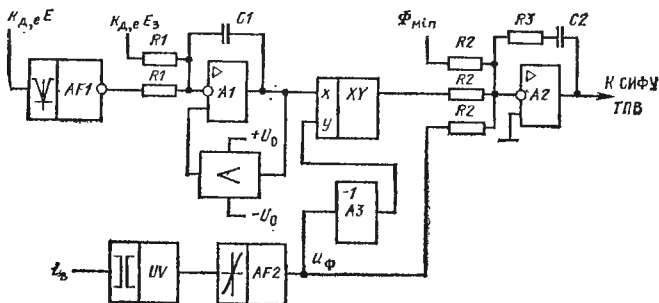


Рис. 3.10. Регулирование потока возбуждения в электроприводах ЗПО «Преобразователь»:

$$R_1 = R_2 = 10 \text{ кОм}, R_3 = 510 \text{ кОм}, C_1 = C_2 = 0,5 \text{ мкФ}$$

На рис. 3.11 показана также цепочка ограничения $I_{\min}$: когда потенциал точки a при уменьшении $u_{д,т,в}$ становится отрицательным, через диод $V1$ начинает протекать ток, который препятствует дальнейшему снижению тока возбуждения.

На рис. 3.12 изображен регулятор возбуждения, примененный в серии ЭТЗ. Система замкнута по напряжению возбуждения. На входе датчика напряжения суммируются напряжение возбуждения u_b и входное напряжение нелинейного элемента AF , имеющего характеристику типа

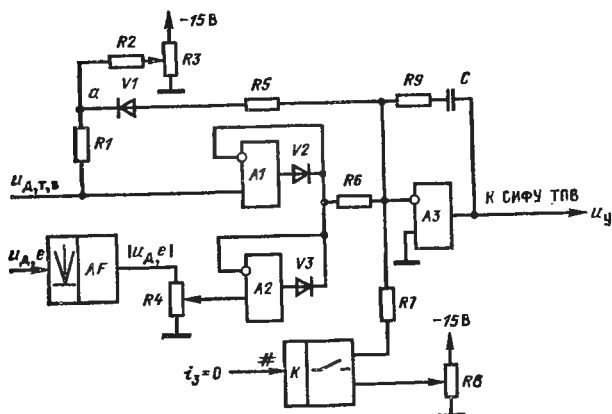


Рис. 3.11. Регулирование потока возбуждения в одноконтурных системах

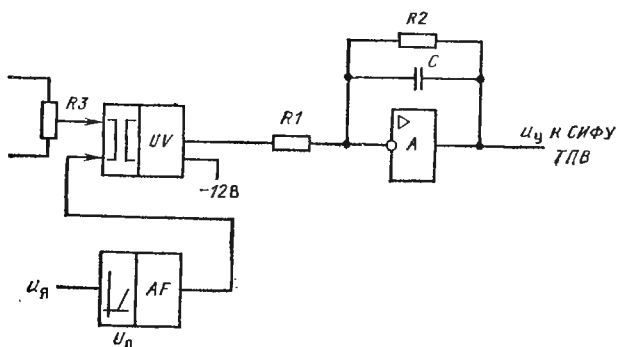


Рис. 3.12. Регулирование потока возбуждения в электроприводах серии ЭТЗ:

$$R_1=20 \text{ кОм}, R_2=200 \text{ кОм}, C=10 \text{ мкФ}$$

зоны нечувствительности. Номинальное напряжение возбуждения устанавливается потенциометром $R3$. Когда при увеличении скорости напряжение на якоре двигателя u_n превысит U_0 , напряжение на входе датчика напряжения возрастет, что при неизменном задании приведет к уменьшению u_b , т. е. к ослаблению потока возбуждения.

3.2.4. Логические схемы защиты и сигнализации

Тиристорные электроприводы снабжаются схемой защиты и сигнализации, предназначенной для принятия и фиксации аварийных сигналов и отключения автоматического выключателя главной цепи. Достаточно общая структура такой схемы приведена на рис. 3.13.

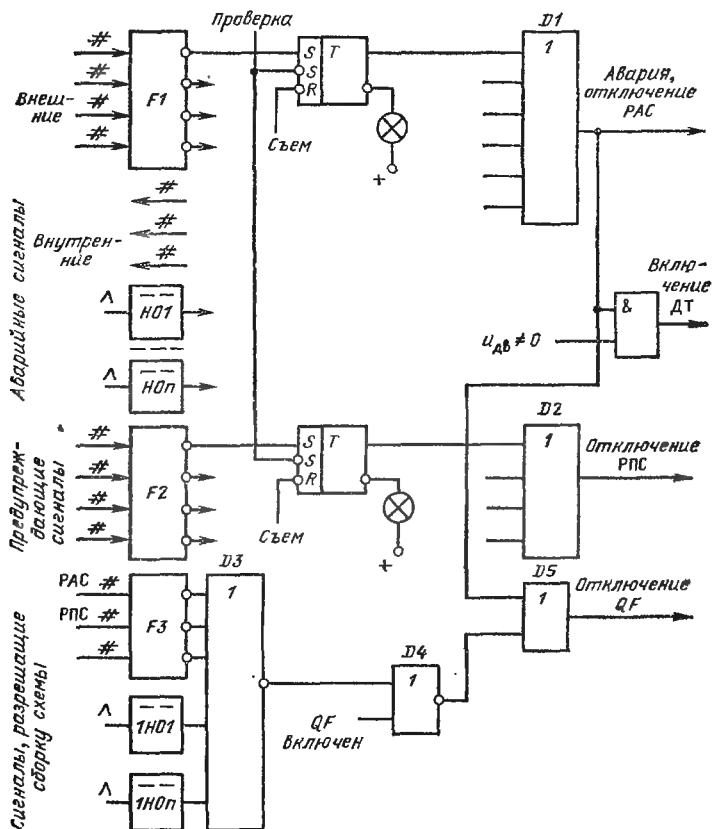


Рис. 3.13. Структура защиты и сигнализации электропривода

Входные сигналы, воспринимаемые логической схемой, по своему виду и уровню разделяются на три группы: дистанционные дискретные сигналы, передаваемые на повышенном уровне напряжения, внутренние дискретные сигналы, передаваемые на уровне, принятом в данной системе ($+15$ В для электроприводов, выпускаемых ХЭМЗ и ЗПО «Преобразователь»), аналоговые сигналы. Первые из них перед поступлением в систему требуют преобразования уровня и гальванического разделения. В качестве входных устройств (на рис. 3.13 обозначенных F) используются либо оптроны, либо герконные реле. Аналоговые сигналы подаются на нуль-органы, на выходе которых при превышении уровнем аналогового сигнала заранее установленного значения формируются логические сигналы.

Входные сигналы можно разделить на ряд групп: аварийные, появление которых свидетельствует об аварии в электроприводе или ТП и требует отключения автоматического выключателя главной цепи; предупреждающие, появление которых должно сопровождаться сигнализацией обслуживающему персоналу о необходимости принятия необходимых мер, препятствующих развитию аварийного состояния электропривода; запрещающие сборку схемы, но при собранной схеме не препятствующие ее работе.

Внешние сигналы проектируются таким образом, чтобы при нормальной работе эти цепи были бы замкнуты. Внутренние сигналы при применении микросхем типов ТТЛ или ДТЛ, например, серии К511 выбираются так, чтобы при нормальной работе они соответствовали логическому нулю. Аналоговые сигналы в зависимости от их функции могут выдавать аварийные сигналы как при $u_{вх} > U_0$ (например, защита от перегрузки), так и при $u_{вх} < U_0$ (например, исчезновение тока в обмотке возбуждения).

При появлении аварийного сигнала он запоминается на RS-триггере T . Число триггеров равно числу аварийных сигналов. Включение триггеров можно также осуществить подачей сигнала *Проверка*, а сброс триггеров — подачей сигнала *Съем*. При включении триггера подается световой сигнал — загорается световой индикатор, в качестве которого используются светонезлучающие диоды или другие индикаторы. Кроме того, при этом через схему ИЛИ $D1$ сигнал *Авария* вызывает через элемент $D5$ отключение автоматического выключателя главной цепи, а также отключение реле аварийной сигнализации PAC . Аварийными сигналами первой и второй групп являются: неисправность силовых цепей питания ТП, сигналы аварии ТП (короткое замыкание, опрокидывание инвертора, одновременное открывание обеих групп реверсивного ТП, неисправность цепей собственных нужд ТП); сгорание предохранителей ТП (одного, если ТП не допускает работу с одним отключенным из параллельно включенных тиристоров, или двух, если такая работа допускается); отключение какого-либо из источников, питающих систему управления; неисправность цепи возбуждения тахогенератора (если таковой используется); превышение двигателем максимально допустимой скорости, контролируемое центробежным реле; газовая защита масляного трансформатора и некоторые другие.

Аварийными сигналами третьей группы являются перегрузка двигателя, обмотки возбуждения (при условии, что ток возбуждения контролируется нуль-органом, при установке же контактных реле они относятся к первой группе), перенапряжение на якоре двигателя, неисправность

цепи динамического торможения при коммутации цепи динамического торможения с помощью тиристоров (контролируется отсутствие тока в этой цепи при отсутствии сигнала на динамическое торможение).

Предупреждающими сигналами являются, например, исчезновение вентиляции ТП или двигателя, чрезмерный нагрев подшипников двигателя, недопустимое повышение температуры масла трансформатора, сгорание одного предохранителя в ТП, снижение уровня изоляции в силовой цепи. Появление предупреждающего сигнала также фиксируется триггером, загорается световая индикация данного сигнала и отключается реле предупреждающей сигнализации РПС, выдающее сигнал на центральную сигнализацию технологического агрегата (в нормальном состоянии реле РАС и РПС включены).

Сигналы, запрещающие или разрешающие сборку схемы, также могут быть дискретными или аналоговыми. К первым из них относятся, например, включенное состояние реле РАС и РПС, установка командоаппаратов, задающих скорость двигателя, в нулевое положение, исходное состояние механизмов, связанных с данным технологической цепочкой. Ко вторым относятся отсутствие напряжения на якоре двигателя, отсутствие напряжения задания скорости. Как видно из рис. 3.13, при отключенном автоматическом выключателе наличие запрещающего сигнала (логический ноль на выходе D3) не позволяет включить автоматический выключатель, но если выключатель уже включен, то входной сигнал элемента D3 не влияет на выходной сигнал элемента D4.

Описанная структура является достаточно общей. В электроприводах серии КТЭУ входные цепи выполнены на базе оптронных усилителей серии К293ЛП1 (в последних поставках — на герконных реле), остальная часть схемы — на элементах серии К511. В электроприводах серии КТЭ входные цепи выполнены на диодных оптронах типа АОД101А, остальная часть схемы — на элементах серии К561. Перспективным является применение герконных реле с магнитной памятью, позволяющих объединить функции входных формирователей F и элементов памяти T. Эти реле имеют две обмотки. На первую из них подается аварийный сигнал, и после его снятия реле остается во включенном состоянии. Сброс памяти осуществляется подачей сигнала на вторую обмотку.

В серии ЭКТ входные цепи выполнены на тех же диодных оптронах, а остальные узлы — на микросхемах серии К511. Структура защит этой серии отличается от описанной: триггеры T только запоминают причины аварии, а отключение привода выполняется с помощью отдельного триггера, который срабатывает при появлении любой аварии, т. е. выходы схемы F1 по схеме ИЛИ поступают на установочный вход этого триггера, который формирует сигнал Авария и отключает реле РАС. Аналогично формируется сигнал предупреждающей аварии с отключением реле РПС. Кроме того, в более ответственных электроприводах этой серии применен узел выделения первой аварии.

Структурная схема устройства изображена на рис. 3.14. Триггеры T1—T16 запоминают аварийные сигналы, но последние не индицируются до нажатия кнопки Опрос. В нормальном режиме счетчик СТ подсчитывает импульсы от генератора G частотой 3 кГц, на входах дешифратора DC последовательно появляются логические 0 и включаются ключи K1—K16. Так как входные сигналы — логические 0, то триггер T не устанавливается. На светоизлучающие диоды H1—H16 подается кратковременно напряжение, и они слабо светятся.

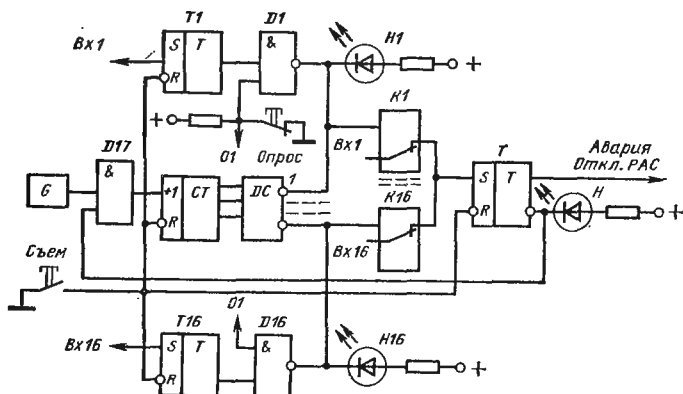


Рис. 3.14. Защита и сигнализация в электроприводах серии ЭКТ

При появлении первого аварийного сигнала в тот момент, когда состояние счетчика *СТ* будет соответствовать опросу этого сигнала, «аварийная» логическая 1 установит триггер *Т*. При этом дальнейший счет прекратится, счетчик зафиксируется в этом положении, и соответствующий светодиод будет ярко гореть, а остальные — погашены. Таким образом, индицируется первая авария. Для индикации всех сопровождающих аварий нужно нажать кнопку *Опрос*.

3.3. Регулирование скорости, ЭДС или напряжения

Наибольшее распространение получили электроприводы с регуляторами скорости, ЭДС или напряжения. Основной регулирующий контур системы замыкается по напряжению, ЭДС или скорости, измеряемой тахогенератором или частотным датчиком в зависимости от технических требований, предъявляемых к электроприводу (см. § 3.1). В системах подчиненного регулирования выходной сигнал регулятора скорости является сигналом задания тока $u_{з,т}$ для регулятора тока. На регулятор скорости и связанные с ним узлы возлагаются дополнительные задачи: ограничение сигнала $u_{з,т}$ допустимым значением, которое может зависеть от значения потока двигателя Φ , ограничение скорости изменения тока di/dt , формирование требуемой жесткости механических характеристик электропривода, прием сигналов задания скорости двигателя $\omega_{дв}$, обеспечение изменения $\omega_{дв}$ с определенным ускорением и др.

На рис. 3.15 приведена схема регулирования скорости, примененная в электроприводах, серии КТЭУ завода ХЭМЗ. Регулятор скорости выполнен на усилителях *А2*, *А3*. На выходе *А2* образуется разность сигналов задания и обратной связи:

$$u_{вых2} = \frac{R_5}{\alpha_m \alpha_r u_\Phi (R_2 + R_3)} \left[\frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_4} u_{з,с} - u_{д,с} \right]. \quad (3.13)$$

где σ — желаемое перерегулирование; $T_{\mu c} = \omega_{ср,т}^{-1} + T_{\Phi, c}$; $T_{\Phi, c}$ — постоянная фильтра в цепи измерения скорости, равная в данном случае

$$T_{\Phi, c} = \frac{(R_3 + R_2') (R_2 - R_2')}{R_2 + R_3} C_2; \quad (3.17)$$

здесь R_2' — часть резистора R_2 между выводом R_3 и движком.

Усилитель $A1$ суммирует различные сигналы задания скорости. Один из них поступает извне через гальванический разделитель $UP2$, второй — через задатчик интенсивности AI . Входные напряжения AI также либо поступают извне через гальванический разделитель $UP1$, либо формируются устройством задания скорости (см. рис. 3.17). В задатчике интенсивности предусмотрено формирование разных характеристик разгона и торможения с помощью нуля-органа AUI и ключа $K1$ [17]. Напряжение питания устройства ограничения задатчика интенсивности, определяющее значение ускорения, зависит от потока возбуждения двигателя, тем самым имеется возможность снижать ускорение в зависимости от степени ослабления потока возбуждения.

На выходе усилителя $A1$ включен фильтр, который служит для уменьшения перерегулирования по заданию при сохранении высокого быстродействия при изменении нагрузки. Обычно принимают

$$\frac{(R_4 + R_1') (R_1 - R_1')}{R_1 + R_4} C_1 = T_3. \quad (3.18)$$

В схеме предусмотрен узел, снижающий напряжение токоограничения при увеличении скорости, что необходимо в связи с тем, что у двигателей постоянного тока допустимое значение перегрузки снижается при значительном увеличении скорости выше номинальной. Этот узел содержит элементы выделения модуля $AF1$, нелинейный преобразователь $AF2$, формирующий необходимую зависимость $U_{3, \text{тmax}}$ от $\omega_{дв}$, и инвертор $A5$. Резистором R_{13} устанавливают значение скорости, начиная с которого происходит снижение $U_{3, \text{тmax}}$, а резистором R_{14} — начальное значение $U_{3, \text{тmax}}$. Выходные напряжения узла питают узел ограничения выходного напряжения регулятора.

Если в системе используется обратная связь по напряжению, то $u_{д, c}$ заменяется сигналом датчика напряжения $u_{д, н}$, пропорциональным напряжению на якоре двигателя. При использовании обратной связи по ЭДС сигнал обратной связи снимается с датчика ЭДС, собранного на усилителе $A4$. Настройка датчика ЭДС должна быть выполнена по соотношениям

$$\left. \begin{aligned} R_8 + R_9 &= R_{12}; \\ \frac{(R_9 + R_8') (R_8 - R_8')}{R_8 + R_9} C_4 &= T_{дв}; \\ \alpha_{10} &= k_{д, н} R_{дв} / k_{д, т}, \end{aligned} \right\} \quad (3.19)$$

при этом $k_{д, н} = k_{де}$, а $T_{\Phi, c}$ принимается равной $T_{дв}$. В режиме стоянки ($u_{3, c} = 0$, $u_{д, c} = 0$) срабатывает нуль-орган $AU2$, ключи бесконтактного реле $K3$ шунтируют усилители регулятора скорости (одновременно этот же сигнал *Стоянка* шунтирует регулятор тока) и подается сигнал в СИФУ на срыв управляющих импульсов. В некоторых случаях сигнал

задания скорости формируется во внешних схемах, при этом для исключения запаздывания при отключении ключей подается специальный сигнал *Работа* из внешней схемы.

На рис. 3.16 показана схема задания скорости, примененная в электроприводах серии КТЭУ. Предусмотрена возможность использования двух задатчиков скорости: сельсинного командоаппарата *UR* и ступенчатого задатчика *AQ* на три ступени «вперед» или «назад». Выходы этих задатчиков соединяются вместе и подаются на вход задатчика интенсивности. В каждый момент задает скорость тот задатчик, который выбран (разрешен) внешним сигналом. Имеется вход для общего запрета задания, а также конечные ограничения для хода «вперед» или «назад». При нуле нуль-орган *AU* выдает сигнал, разрешающий сборку схемы.

На рис. 3.17 показаны узлы регулирования скорости, применяющиеся в электроприводах ЗПО «Преобразователь». Собственно регулятор скорости реализован на усилителе *A2*. Для корректировки коэффициента усиления при изменении потока возбуждения применяется устройство деления в прямой цепи. Ограничение сигнала задания тока выполняется на усилителе *A3*. Напряжение ограничения принимается в виде $U_0 - \gamma u_{\text{ф}}$, где γ — коэффициент пропорциональности, тем самым обеспечивается снижение перегрузки при уменьшении потока возбуждения. В режиме стоянки при $u_{\text{з,с}} = 0$, $u_{\text{д,с}} = 0$, $du_{\text{з,с}}/dt = 0$ вырабатывается логический сигнал, снимающий напряжение подпора узла ограничения, тем самым обеспечивается $u_{\text{з,т}} = 0$. Сигнал $du_{\text{з,с}}/dt$ вырабатывается в задатчике интенсивности *A11* — как выход релейного усилителя задатчика.

В схему введен второй задатчик интенсивности — *A12*, служащий для ограничения скорости нарастания тока di/dt при быстром изменении сигнала задания скорости, поэтому в регуляторе тока ограничение di/dt отсутствует.

При расчете регулятора должны выполняться соотношения

$$C_3 R_7 = T_3; \quad \omega_{\text{ср,с}} = \frac{\alpha_{\text{д}} R_{\text{я}} R_7 (R_2 + R_3) U_{\text{д,с,ном}}}{R_1 (R_5 + R_6) k_{\text{д,т}} T_{\text{м}} U_{\text{фном}} E_{\text{ном}}} \quad (3.20)$$

На рис. 3.18 показана схема задания скорости в электроприводах серии ЗПО «Преобразователь». Применяется задание от сельсинного командоаппарата и ступенчатое задание в одну ступень. Входные сигналы поступают через оптронные формирователи *F*. Предусмотрены ограничения перемещения механизма в каждом из двух направлений, общий запрет, а также ограничение скорости, задаваемой сельсинным командоаппаратом, воздействием на цепи ограничения выходного напряжения ячейки задания.

На рис. 3.19 изображена схема регулирования скорости в электроприводах серии ЭКТ. Пропорционально-интегральный регулятор собран на усилителе *A3* с регулируемым ограничением. Напряжение ограничения изменяется по закону $u_{\text{огр}} = U_0 - \gamma \omega_{\text{дв}}$ при $\omega_{\text{дв}} > \omega'_{\text{дв}}$, $u_{\text{огр}} = U_0$ при $\omega_{\text{дв}} < \omega'_{\text{дв}}$. Коэффициент наклона γ устанавливается резистором R_{10} , а значение $\omega'_{\text{дв}}$ — резистором R_{20} . Задатчик интенсивности *A12* служит для ограничения di/dt .

Задатчик интенсивности *A11*, суммирующий усилитель *A1* и усилитель *A2* с умножителем в цепи обратной связи выполняют те же функции, что и в схеме на рис. 3.14. Нуль-орган *AU* вырабатывает логический

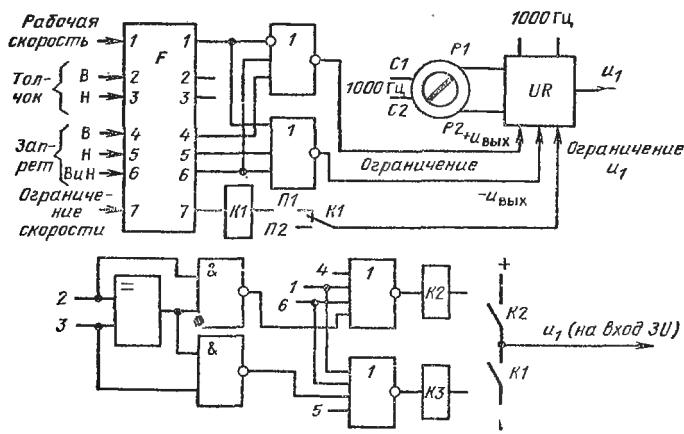


Рис. 3.18. Задание скорости в электроприводах ЗПО «Преобразователь»

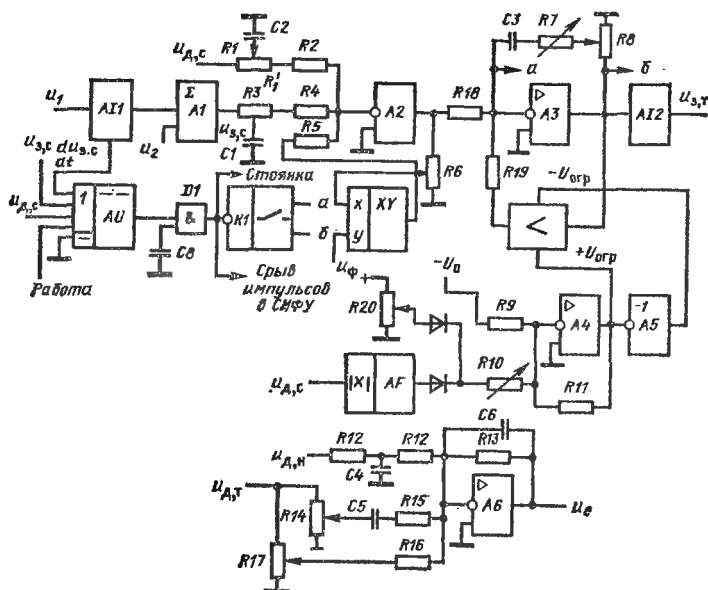


Рис. 3.19. Регулятор скорости электроприводов серии ЭКТ:

$R_1=R_3=15$ кОм, $R_2=R_4=9$ кОм, $R_5=2,4$ кОм, $R_6=6,8$ кОм, $R_8=4,7$ кОм, $R_9=$
 $=R_{11}=5,6$ кОм, $R_{10}=13$ кОм, $R_{12}=40$ кОм, $R_{13}=80$ кОм, $R_{14}=4,7$ кОм, $R_{15}=9,1$ кОм,
 $R_{16}=80$ кОм, $R_{17}=4,7$ кОм, $R_{19}=5,6$ кОм, $R_{20}=6,8$ кОм, $R_{18}=30$ кОм, $C_1=C_2=4,7$ мкФ,
 $C_3=(1+4,7)$ мкФ, $C_4=0,47$ мкФ, $C_5=0,47$ мкФ, $C_6=0,047$ мкФ, $C_7=0,47$ мкФ

сигнал стоянки, конденсатор C_8 обеспечивает запаздывание на закорачивание ключей в цепи обратных связей усилителей, необходимое для полной остановки двигателя. Параметры регулятора выбираются по следующим соотношениям:

$$\left. \begin{aligned} \frac{(R_4 + R'_3)(R_3 - R'_3)}{R_3 + R_4} C_2 = T_3 = R_7 C_3; \\ \frac{(R_2 + R'_1)(R_1 - R'_1)}{R_1 + R_2} C_1 = T_{\Phi, c}; \\ \omega_{ср, c} = \frac{R_5 R_7 R_{Я} U'_{Д, c, ном}}{\alpha_m \alpha_6 \alpha_8 (R_1 + R_2) R_{18} k_{Д, Т} T_M U_{Ф, ном} E_{ном}} \end{aligned} \right\} \quad (3.21)$$

Измеритель ЭДС на усилителе A_6 выполнен по схеме с уменьшенным запаздыванием по сравнению с $T_{дв}$. Для этой схемы должны быть выполнены соотношения

$$\alpha_{17} = k_{Д, Н} R_{ДВ} / k_{Д, Т}; \alpha_{14} = \alpha_{17} (T_{ДВ} - 4,5) / (2C_5 R_{12}), \quad (3.22)$$

где $T_{дв}$ — в мс, C_5 — в мкФ, R_{12} — в кОм. Эквивалентная постоянная времени измерителя 10 мс.

Некоторые особенности имеют регуляторы скорости для глубокорегулируемых электроприводов подач металлорежущих станков. На рис. 3.20 представлена схема регулятора, применяющаяся в электроприводах серии ЭТУ3601. Для увеличения диапазона регулирования скорости применен промежуточный усилитель с коэффициентом усиления 100 и высокой термостабильностью, выполненный по схеме: модулятор UB , усилитель A_2 , демодулятор-дискриминатор UR . Стабилизация системы осуществляется с помощью конденсаторов C_2 . Если требуемый диапазон регулирования скорости относительно невелик (не более 100:1), то промежуточный усилитель не используется, сигнал обратной связи непо-

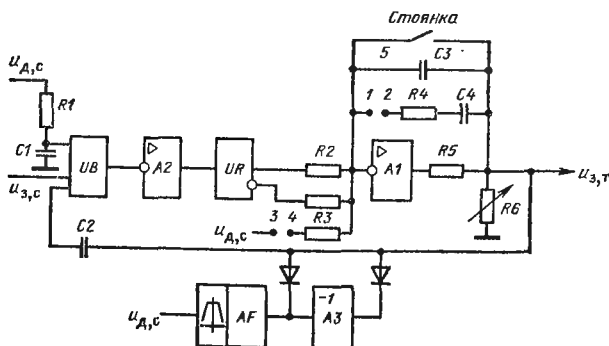


Рис. 3.20. Регулятор скорости электропривода ЭТУ3601:

$R_1 = R_2 = R_5 = 2,7$ кОм, $R_{14} = 10$ кОм, $C_1 = 0,022$ мкФ, $C_2 = 2,2$ мкФ, $C_3 = 0,015$ мкФ, $C_4 = 0,47$ мкФ

средственно подается на вход $A1$, в котором устанавливаются переключки 1-2, 3-4, а конденсатор $C3$ отсоединяется.

В схеме регулятора предусмотрен узел зависимого токоограничения (нелинейный преобразователь AF и инвертор $A3$), снижающий максимальное напряжение задания тока $u_{3,т}$ при увеличении скорости двигателя.

Регулятор скорости электроприводов серии ЭТ6 имеет близкую структуру: он выполняется двухкаскадным, причем первый каскад имеет высокую термостабильность за счет использования в нем прецизионного усилителя типа К140УД13. В электроприводах серий ЭТ3 и ЭТП пропорционально-интегральные регуляторы скорости реализованы на одном ОУ с ограничением напряжения на входе регулятора тока для осуществления контроля токоограничения.

На рис. 3.21 изображена структурная схема регулирования скорости электропривода серии ЭПУ1. Регулятор скорости AR пропорционально-интегральный. Резистором RV задается скорость двигателя, а резистором $R1$ — значение I_{max} . В схеме применена жесткая отрицательная связь по току якоря двигателя $I_{я}$, подаваемая непосредственно на вход управляющего органа СИФУ. При переключении выпрямительных мостов с помощью бесконтактных ключей $K1$ переключается полярность выходного сигнала нелинейного преобразователя $AF1$, что позволяет иметь однополярный сигнал $I_{я}$, формируемый трансформаторами переменного тока. Нелинейный преобразователь $AF1$, перестраиваемый в функции $U_{дв}$, обеспечивает увеличение контурного коэффициента усиления в режиме прерывистого тока — аналогично тому, как это выполнено в электроприводах серии ЭТУ3601.

Переключение выпрямительных групп выполняется логическим устройством $AB1$ в функции выходного сигнала регулятора скорости при наличии разрешения от датчика состояния тиристоров $ДСТ$. В схеме предусмотрен узел зависимого токоограничения, снижающий максимально возможный выходной сигнал регулятора скорости в функции $\omega_{дв}$ (нелинейный преобразователь $AF2$). Узел защит $AB2$ бесконтактным

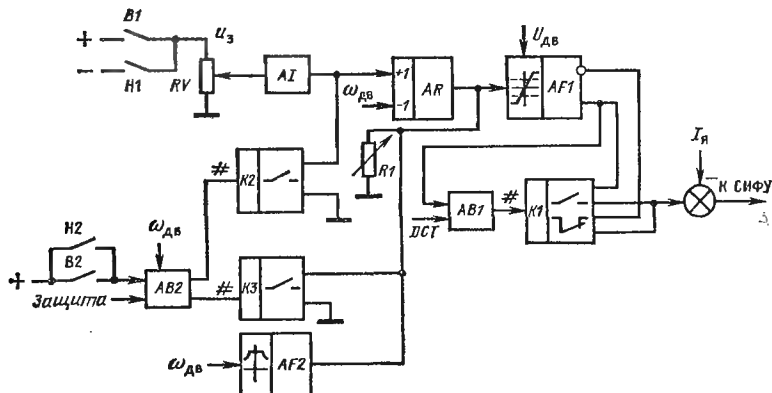


Рис. 3.21. Регулятор скорости электропривода ЭПУ1

ключом $K2$ отключает сигнал задания скорости при превышении скорости двигателя допустимого значения и при перенапряжении на двигателе и сигнал задания тока при аварийных режимах в электроприводе.

На рис. 3.22 приведена структурная схема регулирования скорости электропривода серии ЭПУ2.

Резистором $R2$ устанавливают значение токоограничения, нелинейный преобразователь AF служит для улучшения динамических характеристик в режиме прерывистого тока. Резистором $R1$ устанавливают коэффициент положительной обратной связи по скорости, который обычно выбирается таким, что в режиме идеального холостого хода выходное напряжение регулятора AR близко к нулю. Остальные узлы такие же, как и в схеме рис. 3.21.

3.4. Регулирование положения

Общие требования к системам управления электроприводами с регулированием положения были приведены в § 3.1. Такие электроприводы применяются для приведения исполнительного органа механизма в заранее заданное положение, слежения за положением другого механизма при взаимной синхронизации двух электроприводов по положению. Системы управления такими электроприводами имеют внешний (основной) контур положения и подчиненные ему контуры скорости и тока, которые выполнены по тем же схемам, что и описанные ранее.

Схема регулятора положения в значительной мере зависит от типа примененного датчика положения. ПО ХЭМЗ и ЗПО «Преобразователь» в своих серийных поставках применяют сельсинные схемы измерения положения. Во многих случаях обеспечиваемая при этом точность является достаточной. Если же требуется более высокая точность, то применяют цифровые системы управления.

Схема регулятора положения, примененная в электроприводах серии КТЭУ, приведена на рис. 3.23. Предполагается, что для измерения положения используются системы «грубого» $BC2$ и «точного» $BC1$ отсчетов, связанные между собой редуктором, повышающим от $BC2$ к $BC1$, с пере-

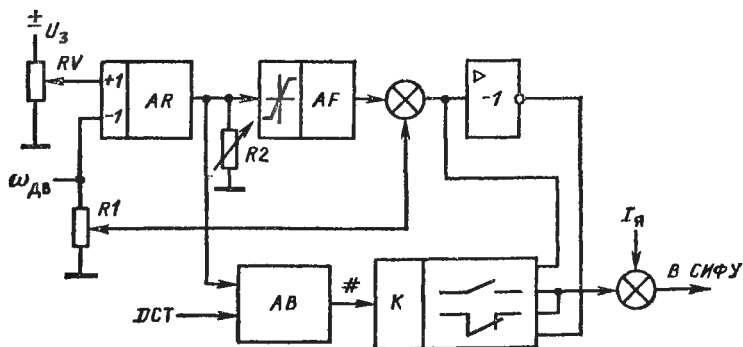


Рис. 3.22. Регулятор скорости электропривода ЭПУ2

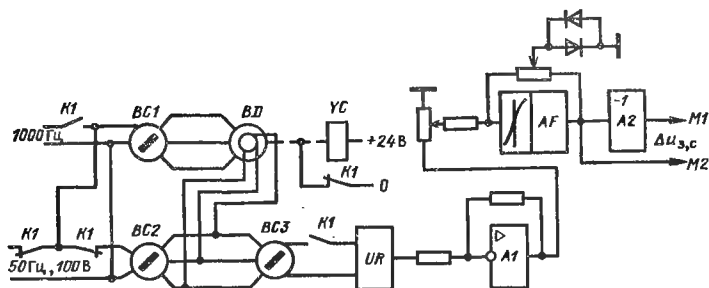


Рис. 3.24. Взаимная синхронизация двух электроприводов серии КТЭУ

торможен, сельсины $BC1$, BD , $BC2$ (который также связан со вторым механизмом) питаются напряжением 110 В, 50 Гц, что увеличивает синхронизирующий момент сельсинов. Ротор сельсина BD устанавливается в такое положение, что магнитная связь между его обмотками минимальна. Так как ротор сельсина $BC2$ развернут на 90° относительно $BC3$, то после включения реле $K1$ напряжение на выходе UR равно нулю, т. е. сельсины согласованы.

Цифровые системы регулирования положения применяются при высоких требованиях к точности позиционирования. Так как цифровое измерение положения обычно требует цифровых задатчиков положения для различных режимов, цифровой индикации и т. п., то обычно такого рода системы оказываются индивидуального применения и представляют собой типовую систему регулирования скорости или положения и дополнительные цифровые блоки. В качестве примера рассмотрим цифровую систему регулирования положения двух взаимосвязанных электроприводов, разработанную для нажимных винтов одного из станов холодной прокатки.

Система содержит два отдельных электропривода с регуляторами скорости. Установленные в них узлы задания скорости используются в режиме раздельного управления. Для обеспечения всех предъявляемых к электроприводу требований устанавливаются дополнительные: задатчик интенсивности для общего задания скорости при ручном управлении, узлы измерения перемещения обоих винтов с использованием импульсных датчиков, регулирования положения обоих винтов при их совместном перемещении, задания положения, электрической синхронизации перемещения обоих винтов.

В системе регулирования предусмотрена возможность одновременной обработки заданий на совместную и раздельную работу нажимных винтов. При этом раздельной работе отдается приоритет, и исключается возможность превышения ограничений по скорости и току путем воздействия на задатчик интенсивности общего задания.

В качестве датчиков положения использованы импульсные датчики типа ПДФЗ, связанные с левым и правым нажимными винтами и обеспечивающие дискретность 0,01 мм. Измерение положения осуществляется реверсивными 16-разрядными счетчиками. В качестве кода обратной

связи принята полусумма положений обоих винтов. Узел задания положения содержит регистр-счетчик, на вход которого поступает код задания положения, причем возможна предварительная установка трех значений этого кода в зависимости от режима работы прокатного стана. Собственно регулятор положения состоит из арифметического устройства, работающего в режиме вычитания, преобразователя код — напряжение, функционального преобразователя и дешифратора.

Схема электрической синхронизации содержит реверсивный счетчик, на вход суммирования которого поступают импульсы от одного датчика, а на вход вычитания — от другого, так что код счетчика равен интегралу от рассогласования. При начальной установке в счетчик записывается число, равное половине его максимального кода. На выходе счетчика установлен преобразователь код — напряжение, причем смещение на его входе компенсирует начальный код, так что напряжение на выходе преобразователя пропорционально интегралу от рассогласования. Такая схема синхронизации имеет преимущества перед сельсиной, в частности, облегчена установка начальной синхронизации, поэтому она применяется и без цифрового регулятора положения. Вся цифровая часть схемы выполнена на элементах УБСР-ДИ малой и средней степени интеграции.

3.5. Регулирование натяжения

Регулирование натяжения используется либо в электроприводах механизмов, транспортирующих листовой или полосовой материал (например, стальную или резиновую ленту) с помощью натяжных барабанов, правильных роликов и т. п., либо в электроприводах намоточно-размоточных механизмов. Так как в последнем случае для поддержания постоянства натяжения T при заданной скорости прокатки v достаточно поддерживать постоянство электромагнитной мощности двигателя (что следует из равенства $Tv/\eta = EI$, где η — КПД), то такие электроприводы называются электроприводами с регулированием мощности. В отличие от них электроприводы первого типа называются электроприводами с регулированием натяжения и скорости.

Электроприводы с регулированием натяжения и скорости отличаются тем, что радиус натяжного барабана, который определяет плечо силы и момент, постоянен. Момент намоточно-размоточных механизмов изменяется из-за изменения радиуса рулона, поэтому системы управления электроприводами оказываются более сложными.

Структурная схема системы управления электроприводами первого типа изображена на рис. 3.25. Регуляторы тока и скорости аналогичны описанным ранее. Показанные на схеме контакты $K1—K10$ являются транзисторными ключами.

В режиме регулирования скорости замкнуты ключи $K3, K6$, задающие напряжение ограничения регулятору скорости. На усилителе $A1$ происходит суммирование сигналов задания скорости. В режиме индивидуального задания замкнут ключ $K8$, а в режиме задания от общей системы управления — $K9$. Напряжение v_n пропорционально заданной скорости перемещаемого материала. Имеется возможность коррекции индивидуальной скорости сигналом Δv . Кроме того, предусмотрен узел регулирования петли обрабатываемого материала при транспортировке, если такая петля предусмотрена. Заданное значение L_a сравнивается с истинным L , и на выходе функционального преобразователя $AF1$, слу-

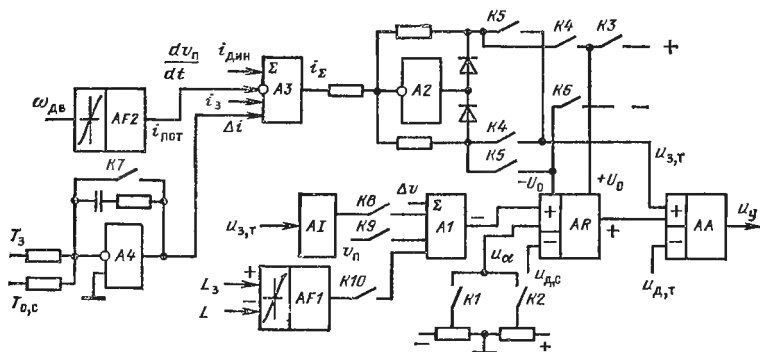


Рис. 3.25. Система регулирования натяжения и скорости

жащего для оптимизации процесса отработки рассогласования по размеру петли, образуется напряжение, зависящее от погрешности $L_3 - L$.

В связи с малым распространением непосредственных измерителей натяжения в системе управления использовано регулирование статического тока двигателя, который вычисляется вычитанием динамического тока $i_{дин}$ из полного тока i_Σ . Первый при постоянном потоке двигателя пропорционален dv_n/dt . Этот сигнал формируется либо в общей системе управления технологическим агрегатом, либо дифференцированием сигнала v_n . Кроме того, следует учитывать, что часть статического тока расходуется на потери в электроприводе. Ток потерь $i_{пот}$ является функцией скорости двигателя $\omega_{дв}$. Таким образом, полный сигнал задания тока $i_\Sigma = i_3 + i_{дин} + i_{пот}$, где i_3 — заданный ток натяжения. В системе также предусмотрена возможность работы с измерителем натяжения, вырабатывающим сигнал обратной связи $T_{0,c}$. На усилителе A4 формируется напряжение, зависящее от погрешности $T_3 - T_{0,c}$, и поступает на вход A3 как дополнение к заданию.

В режиме регулирования натяжения система работает следующим образом. Если знак натяжения таков, что он соответствует двигательному режиму работы, при котором натяжение создается за счет потребления энергии ТП из сети, то замкнуты контакты K1, K4, K6. Благодаря замыканию K1 регулятор скорости насыщается, и его выходное напряжение определяется напряжением ограничения $\pm U_0$. Напряжение $+U_0$ определяется выходом усилителя A2, а напряжение $-U_0$ постоянно. Выходное напряжение усилителя A2 положительно и определяет сигнал задания тока $u_{3,т}$. Если в режиме торможения выходное напряжение A2 изменяет полярность, то оно через контакт K4 поступает непосредственно на вход регулятора тока. Если в этом режиме произойдет обрыв полюсы, то двигатель, не встречая сопротивления, будет разгоняться, при этом $u_{д,с}$ станет больше $u_{3,с} + u_\alpha$ и регулятор скорости выйдет из насыщения, ограничив тем самым превышение скорости. Напряжение u_α задает так называемую скорость обгона.

В инверторном режиме, когда натяжение полосы перед роликами (переднее) больше натяжения за роликами (заднего), статический ток отрицателен, при этом $i_a < 0$, напряжение на выходе $A2$ также отрицательно, замкнуты ключи $K2, K3, K5$. Работа системы происходит аналогично описанному выше, но с изменением полярности сигналов.

Рассмотрим систему регулирования натяжения второго типа, т. е. регулирования мощности. Основная часть схемы изображена на рис. 3.26. Задание тока осуществляется так же, как и в системах первого типа, но с тем отличием, что переключение полярности цепей ограничения, как в схеме на рис. 3.25, не требуется. В режиме отдельной работы электропривода от остальных электроприводов технологического агрегата (ключ $K2$ замкнут) задание скорости поступает от задатчика интенсивности $A1$ в режиме толчка ($u_{з,т}$) или при работе узла точного останова ($u_{т,о}$). При совместной работе задание скорости пропорционально заданной скорости полосы $v_{п,з}$. Обратная связь по скорости осуществляется по расчетной линейной скорости полосы

$$v_{п,р} = \omega_{дв} R_p,$$

где R_p — радиус наматываемого или сматываемого рулона.

В режиме регулирования скорости ключ $K4$ замкнут, сигнал обгона $\Delta v_{об} = 0$, сигнал разности Δv_z между заданным и фактическим значениями линейной скорости преобразуется в сигнал задания тока $i_{з,т}$ регулятором скорости AR . Напряжение ограничения максимального значения $I_{з,т,макс}$ формируется на выходе усилителя $A2$ и определяется сигналом i_0 . Особенностью построения регулятора скорости является то, что сигнал рассогласования по скорости Δv_z формируется на усилителе $A1$, а не в регуляторе AR , как в предыдущих схемах.

В режиме регулирования мощности регулятор скорости насыщается под действием сигнала обгона $\Delta v_{об}$ (ключ $K4$ разомкнут), при этом сигнал задания тока определяется выходным напряжением усилителя $A3$.

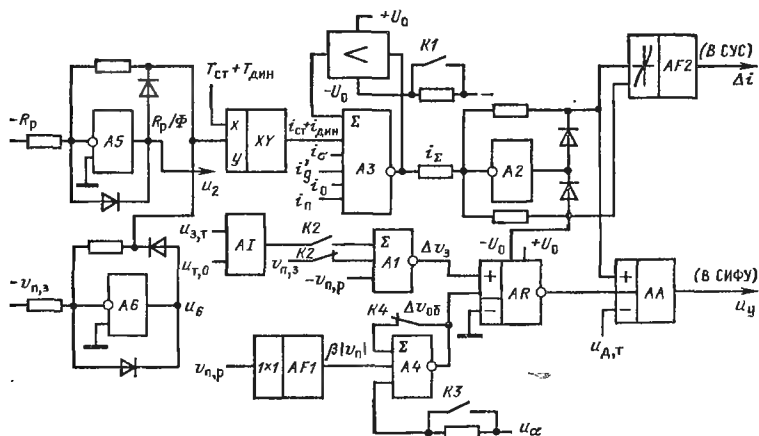


Рис. 3.26. Основная часть системы регулирования мощности

Сигнал обгона равен сумме постоянной составляющей u_{α} и составляющей, пропорциональной скорости полосы $\beta v_{п,р}$. Значения u_{α} и β выбираются такими, чтобы получить желаемую зависимость значения обгона от скорости (например, 15—30 % при малой заправочной скорости и 0—5 % при максимальной скорости). Ключ $K3$ при замыкании увеличивает значение обгона во время работы узла измерения степени обжатия δ (см. далее).

Полный сигнал задания тока i_{Σ} равен сумме ряда составляющих. При отключенном регуляторе мощности $i_{\Sigma} = i_0$, при включенном регуляторе

$$i_{\Sigma} = i_{ст} + i_{дин} + i'_d + i_{\sigma} + i_{пот},$$

где значение $i_{ст}$ определяет натяжение полосы; $i_{дин}$ компенсирует динамический ток двигателя; $i_{пот}$ — потери в электродвигателе и передачах; i_{σ} — потери на изгиб полосы; i'_d — дополнительная составляющая динамического тока, вызванная влиянием ЭДС двигателя на работу регулятора тока.

Значение $i_{ст} + i_{дин}$ вычисляется на основе натяжений $T_{ст} + T_{дин}$ умножением их на отношение R_p/Φ (это следует из равенства $M = k_e \Phi i = TR_p$). Последняя величина вычисляется сравнением в определенном масштабе величин R_p и $v_{п,з}$ [14], причем пока при намотке происходит процесс усиления поля под действием напряжения u_b , полярность выходного напряжения $A5$ отрицательна. Ключ $K1$ размыкается при $\omega_{дв} = 0$, уменьшая значение натяжения для исключения повреждения электродвигателя.

Формирование сигнала $T_{ст} + T_{дин}$ показано на рис. 3.27. Сигнал заданного натяжения задается сельсинным командоаппаратом СКАЗ, при замкнутом ключе $K7$ задается некоторое постоянное минимальное натяжение, а при замкнутом ключе $K5$ задание натяжения отключается. Кроме того, $T_{ст}$ зависит от выходного напряжения системы регулирования толщины и натяжений (САРТиН) и от выхода прямого регулятора натяжения ΔT_1 (см. далее).

Значение компенсации динамического натяжения $T_{дин}$ вычисляется по ускорению полосы на поверхности рулона dv_m/dt , радиуса рулона R_p и ширине полосы b с помощью устройств умножения и функциональных преобразователей. Кроме того, на выход этого узла поступает второй входной сигнал прямого регулятора натяжения ΔT_2 .

Формирование сигнала dv_m/dt показано на рис. 3.28. Он равен сумме двух слагаемых, одно из которых связано с изменением линейной скорости полосы, а второе — с изменением угловой скорости $\omega_{дв}$ из-за изменения радиуса рулона. Первое слагаемое получается умножением сигнала dv_n/dt на величину δ . На рис. 3.28 показано, что сигнал dv_n/dt получается суммированием сигнала $du_{вт}/dt$ из общей схемы управления агрегатом СУС и скорости изменения выходного сигнала САРТиН. Предусмотрен также вариант дифференцирования напряжения $u_{вт}$. Второе слагаемое равно $\omega_{дв} dR_p/dt$, однако в связи с малой скоростью изменения сигнала R_p применяется и косвенный метод расчета этой величины как пропорциональной $\omega_{дв}^2 h$.

На рис. 3.28 показано также формирование сигналов i_n , i_{σ} , i'_d , где σ — предел текучести материала полосы. Сигнал i'_d пропорционален

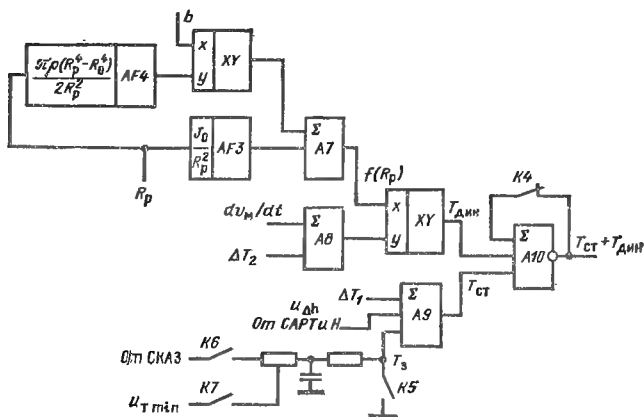
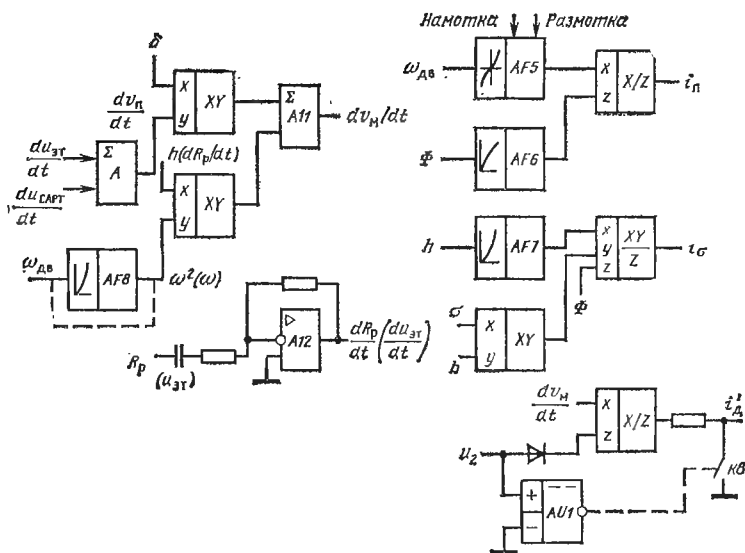
Рис. 3.27. Формирование сигнала $T_{ст} + T_{дин}$ 

Рис. 3.28. Формирование сигналов ускорения и составляющих полного тока

$(dv_m/dt)/(R_p/\Phi)$ при изменении скорости за счет изменения напряжения ТП и $i_d=0$ при изменении скорости за счет ослабления потока возбуждения [14]. Как указывалось, напряжение u_2 (см. рис. 3.26) отрицательно при увеличении Φ при намотке и равно R_p/Φ при достижении номинального значения $\Phi_{\text{ном}}$. Когда $u_2 < 0$, вход $z=0$, при этом срабатывает компаратор $AU1$ и замыкается контакт $K8$, отключая сигнал i'_d .

На рис. 3.29 показан прямой регулятор натяжения. На усилителе $A13$ формируется сигнал $T_s - T_{o,c}$, где $T_{o,c}$ — сигнал датчика натяжения. К напряжению T_s добавляется выходной сигнал САРТнН. Теория работы такой системы регулирования приведена в [11].

Измерение радиуса рулона R_p осуществляется косвенным методом — с помощью автокомпенсации разности $v_m - \omega_{\text{дв}} R_p$. В ряде случаев значение v_m неизвестно и также подлежит вычислению в системе управления электроприводом по известному сигналу v_b — скорости ведущего механизма. Фактически подлежит вычислению коэффициент δ , равный v_m/v_b . Основой узла вычисления R_p и v_m является интегрозапоминающее устройство AS , схема которого приведена на рис. 3.30. Это устройство предназначено для интегрирования с большими постоянными времени интегрирования с предварительной установкой начальных условий и для длительного запоминания полученного выходного напряжения. Его работа основана на преобразовании напряжения в частоту f , подсчете количества импульсов и преобразовании полученного кода в напряжение. Последняя операция осуществляется с помощью двух счетчиков, один из которых непрерывно подсчитывает импульсы частоты f_d , а другой — импульсы частоты f . На демодуляторы $UR1$, $UR2$ подается импульс в момент равенства нулю кода первого счетчика, который взводит триггер демодулятора, и импульс в момент равенства кодов обоих счетчиков (что фиксируется устройством сравнения кодов $D4$), который сбрасывает триггер. Таким образом, время нахождения триггера во взведенном состоянии пропорционально коду второго счетчика; этот код является суммой входных импульсов частоты f или приблизительно равен интегралу от входного напряжения преобразователя u/f . В демодулято-

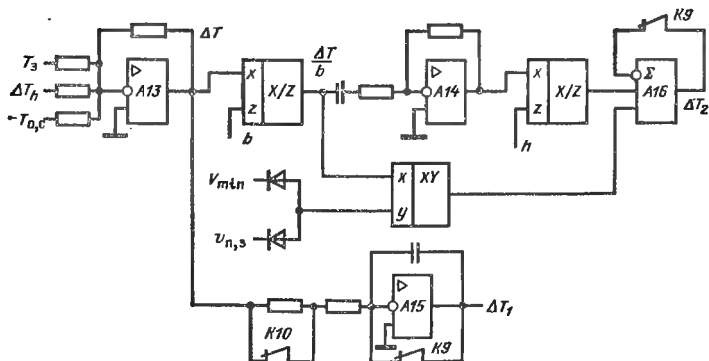
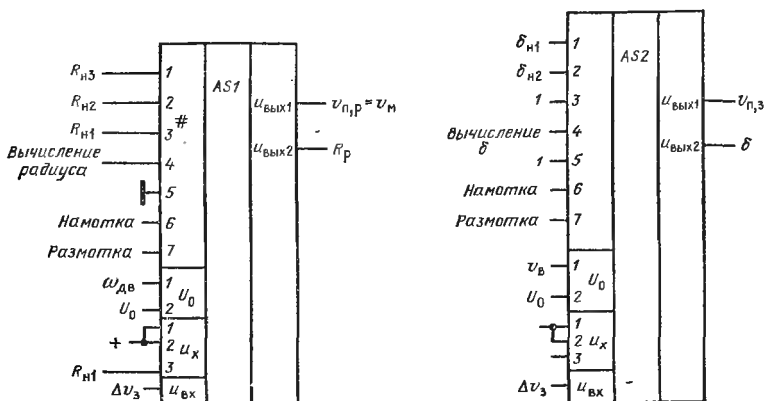


Рис. 3.29. Прямой регулятор натяжения

Рис. 3.31. Вычисление R_p и δ

ство *AS1* записывается начальный радиус R_n . Имеется возможность записать трех различных начальных значений за счет установки разных коэффициентов усиления $\omega_1 - \omega_3$ по этим каналам, а также возможность задачи $R_{н1}$ извне, при этом напряжение u_{02} устройства *UR2* постоянно. Одновременно устанавливаются начальные значения $\delta_{н1}$ или $\delta_{н2}$. В начале цикла намотки или размотки после заправки полосы и установки натяжений включается в работу устройство *AS2*, на вход которого поступает сигнал $\Delta v_3 = v_{п,з} - \omega_{дв} R_{п,н} = v_b \delta_n - \omega_{дв} R_{п,н}$. Так как $\delta_n \neq \delta$, то входное напряжение $u_{вых2}$ будет изменяться до тех пор, пока не будет достигнуто равенство Δv_3 нулю, что имеет место при равенстве δ фактическому значению. После этого устройство *AS2* отключается. Так как напряжение u_{01} пропорционально v_b , то $u_{вых1}$ пропорционально $v_{п,з}$. После этого вступает в работу устройство *AS1*, на вход которого также поступает $\Delta v_3 = v_{п,з} - \omega_{дв} R_p$; в результате интегрирования выходное напряжение $u_{вых2}$ пропорционально R_p , а $u_{вых1}$ — произведению $\omega_{дв} R_p = v_{п,р}$.

В серии электроприводов ЭКТ в интегрозапоминающем устройстве использован другой принцип преобразования кода в напряжение, что наряду с применением недавно освоенных промышленностью интегральных микросхем дало возможность существенно снизить габариты и стоимость устройства. Схема устройства описана в разд. 7.

Косвенный метод измерения радиуса рулона R_p не всегда обеспечивает требуемую точность, особенно если технологический агрегат работает с пониженной скоростью, так как сигнал $\Delta \delta_a$ пропорционален v_n . Поэтому предусмотрено исполнение электропривода с устройством измерения R_p на основе измерения угла α_b поворота ролика или вала ведущего механизма при повороте барабана наматывающего устройства на определенный угол α_m . Очевидно, что угол α_b при неизменном значении α_m пропорционален значению R_p . Углы поворота измеряются импульсными датчиками и счетчиками: значение R_p пропорционально коду счетчика *СТ10*, который сформировался за промежуток времени, необходимый

для обнуления счетчика $CT2$ от некоторого первоначального кода N_0 . При этом на вход $CT10$ поступают импульсы от датчика импульсов, связанного с ведущим механизмом, а на вход $CT2$ — с наматывающим. Сформированный код

$$N = \frac{\alpha_M N_B}{2\pi R_B} R_P, \quad (3.24)$$

где N_B — число импульсов датчика на один оборот ролика ведущего механизма радиусом R_B .

Упрощенная функциональная схема устройства изображена на рис. 3.32. Начальный код, который загружается в счетчик $CT2$, как это следует из (3.24), зависит от R_B . Часто в качестве ведущего механизма используется прокатная клеть, радиус валков которой может изменяться в некоторых пределах. Для компенсации этого изменения предусмотрена корректировка начального кода с помощью SM , при этом реализуется соотношение $R_B^{-1} = (R_{B0} - \Delta R_B)^{-1} \approx R_{B0}^{-1} (1 + \Delta R_B / R_{B0})$, т. е. деление заменяется сложением и умножением. Дешифратор $DC2$ задает R_{B0} в различных режимах. Код N_A также зависит от режима работы: предусмотрены три различных значения начальной установки радиуса R_B , начальное значение R_{B0} в режиме намотки, а также различный загружаемый код для работы с клетью и с роликами, т. е. с различными значениями R_B .

Схема управления координирует всю работу устройства. При выдаче счетчиком $CT2$ сигнала обнуления схема управления запрещает про-

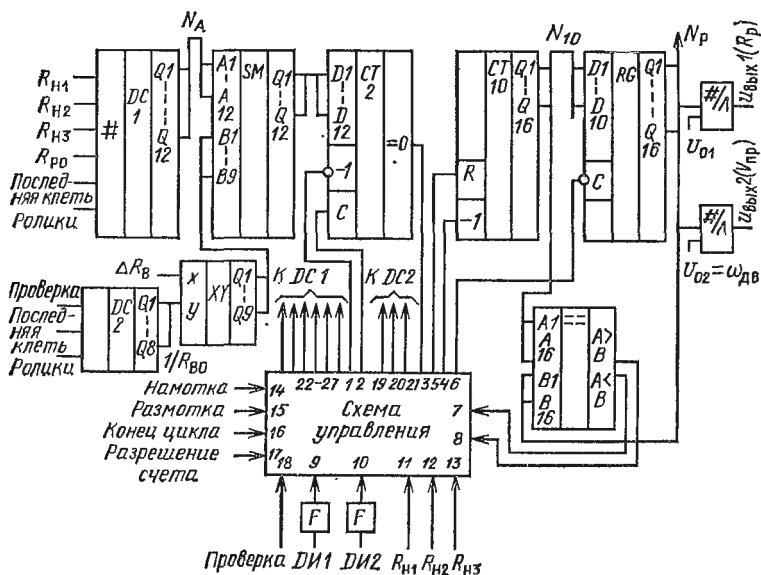


Рис. 3.32. Цифровая система измерения радиуса рулона

задатчика интенсивности регулятора скорости, т.е. барабан смещается из положения «ложного» нуля. Когда нуль-орган $AU1$ выдает логический 0, триггер T взводится, ключ $K2$ размыкается, и отработка проводится только по сигналу сельсина, т.е. барабан приводится в нужное положение.

Остановка барабана по заднему концу осуществляется следующим образом.

До полной остановки барабан должен повернуться на угол

$$\varphi = \varphi_0 + \varphi_p; \quad \varphi_p = \left(A + \sqrt{B^2 - R_p^2} \right) / R_p + \arcsin \frac{R_p}{B}, \quad (3.25)$$

где φ_0 , A , B — постоянные величины [14].

Вычисление тормозного пути выполняется с помощью функционального преобразователя $AF1$. Величины φ_0 и φ_p загружаются в счетчик интегрозапоминающего устройства $AS1$, работающего в режиме слежения («вычисление» разрешено). После выхода конца полосы из ведущего механизма вырабатывается логический сигнал *Остановка по концу*, который ключом $K3$ подключает выход $AS1$ на вход задатчика интенсивности. При вращении барабана датчик импульсов формирует импульсы, которые вычитаются из содержимого счетчика интегрозапоминающего устройства. После отсчета содержимого счетчика до нуля барабан останавливается. Так как напряжение обратной связи по скорости пропорционально R_p , то и выходное напряжение $AS1$ также пропорционально R_p . Однако скорость при точной остановке может оказаться выше скорости выпуска полосы из ведущего механизма. Для предотвращения этого напряжения $U_{т.о}$ ограничено напряжением, пропорциональным скорости выпуска. Последнее напряжение запоминается в интегрозапоминающем устройстве $AS2$.

Описанная выше система управления, примененная в электроприводах серии КТЭУ, реализует обратную связь по расчетной линейной скорости полосы $v_{п,р} = \omega_{дв} R_p$. Наряду с преимуществами этот способ имеет недостаток, связанный со снижением надежности из-за введения в цепь обратной связи дополнительных элементов. Кроме этой схемы возможны и другие варианты построения системы управления электроприводом с регулятором мощности, часть из которых изготавливается заводами электропромышленности по заданию проектных организаций в составе комплектных тиристорных электроприводов. Далее описывается один из вариантов системы управления, в которой обратная связь формируется по $\omega_{дв}$. Соответствующая упрощенная схема изображена на рис. 3.34.

В режиме толчка или при работе системы точной остановки выходной сигнал регулятора скорости AR через контакт $K1$ поступает на вход регулятора тока AA . Для компенсации влияния ЭДС двигателя на характеристики регулятора тока на вход последнего введена гибкая положительная обратная связь по ЭДС через конденсатор C . В режиме регулирования мощности реле $K1$ включено, и сигнал задания тока Σ формируется на выходе $OYA1$. В обратной связи этого ОУ включено устройство умножения на величину Φ/R_p , т.е. выходное напряжение ОУ равно входному, умноженному на R_p/Φ , откуда следует, что входное напряжение ОУ $A1$ пропорционально заданному напряжению полосы T_z . Сигнал T_z равен сумме статической составляющей $T_{ст}$, динамической $T_{дин}$, составляющей потерь $T_{пот}$, а также входного сигнала прямого регулятора натяжения ΔT . Значение натяжения T_z задается оператором.

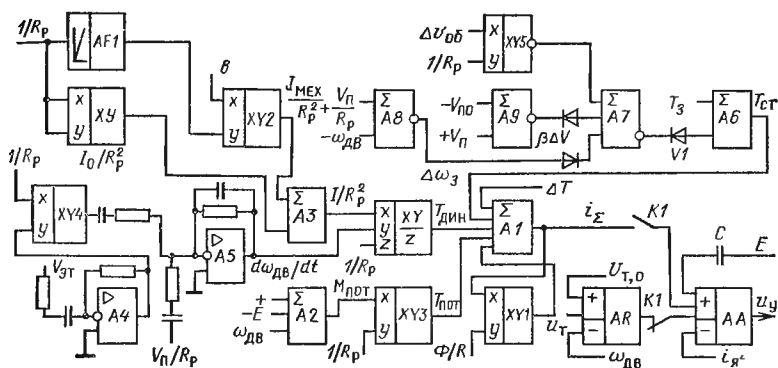


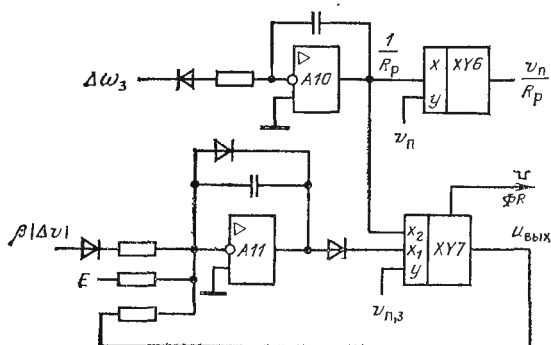
Рис. 3.34. Схема управления электроприводом с регулятором мощности и обратной связью по $\omega_{дв}$

При обрыве полосы входное напряжение ОУ А6 уменьшается до нуля, что предотвращает рост $\omega_{дв}$. Это выполняется следующим образом. При намотке полосы с натяжением выполняется равенство $v_n/R_p - \omega_{дв} = 0$. Скорость обгона $\Delta v_{об}$ задается оператором или устанавливается постоянной при наладке. Выходное напряжение устройства умножения ХУ5 пропорционально угловой скорости обгона. Благодаря наличию диода V1 выходное напряжение ОУ А7 на вход ОУ А6 не поступает. При $v_n > V_{п0}$ к заданной угловой скорости обгона $\Delta v_{об}/R_p$ добавляется сигнал $\beta_0 v = \beta(v_n - v_{п0})$, где $v_{п0}$ — некоторая малая скорость, равная средней скорости заправки полосы. При обрыве полосы под действием сигнала задания тока скорость двигателя $\omega_{дв}$ возрастает.

При достижении равенства $\Delta \omega_3 = \Delta v_{об}/R_p + \beta \Delta v$ выходное напряжение ОУ А7 изменяет полярность, вычитается из напряжения, пропорционального T_3 , и тем самым уменьшает $T_{ст}$ до нуля, при этом дальнейший рост $\omega_{дв}$ прекращается, поэтому скорость $\Delta v_{об}$ и называется скоростью обгона.

Динамическая составляющая $T_{дин}$ вычисляется по тем же формулам, что и для ранее рассмотренной системы. Сигнал ускорения получается дифференцированием сигнала v_n/R_p усилителем А5. Для улучшения формирования начального участка кривой $T_{дин} = f(t)$ на вход А5 вводится также вторая производная от эталонной скорости $v_{эТ}/R_p$, где $v_{эТ}$ формируется в системе управления технологическим агрегатом. Составляющая натяжения, компенсирующая потери $T_{пот}$, формируется как частное от деления момента потерь $M_{п}$ на радиус рулона R_p . Значение $M_{п}$ зависит от скорости и аппроксимируется двумя линейными участками: при $\omega_{дв} < \omega_{ном}$ и при $\omega_{дв} > \omega_{ном}$. Такая аппроксимация достигается тем, что на вход усилителя ОУ А2 поступают с противоположными знаками сигналы $\omega_{дв}$ и $-E$.

Схема формирования сигналов v_n/R_p , $1/R_p$ и Φ/R_p приведена на рис. 3.35. Для вычисления $1/R_p$ используется интегрозапоминающее устройство, которое на рис. 3.35 изображено в виде интегратора А10. В процессе намотки при изменении $\omega_{дв}$ сигнал v_n/R_p изменяется таким обра-

Рис. 3.35. Узлы вычисления $1/R_p$ и Φ/R_p

зом, что $\Delta\omega_3=0$, так что выходное напряжение ОУ $A10$ пропорционально $1/R_p$. Устройство умножения $XY6$ выполняет операцию $u_{\text{вых}}=v_\pi(1/R_p+x_1)$, это устройство имеет дополнительный выход, напряжение которого представляет собой широтно-модулированный сигнал, длительность которого пропорциональна x_1+x_2 . При скорости выше заправочной сигнал $\beta_\Delta v < 0$ (см. рис. 3.34), тогда $u_{\text{вых}} \sim E$, откуда следует, что сигнал $x=x_1+x_2$ пропорционален E/v_π , т.е. пропорционален отношению Φ/R_p . При малой скорости сигнал $\beta_\Delta v > 0$, выходное напряжение ОУ $A11$ близко к нулю, поэтому $x_1=0$. На выходе Φ/R_p появляются импульсы длительностью $1/R_p$, определяющие натяжение покая.

3.6. Специальные системы электроприводов, применяемые в серии КТЭУ

В § 3.3 рассмотрены широко распространенные системы управления электроприводами с регуляторами скорости. Здесь описываются некоторые менее распространенные системы управления электроприводами с такими регуляторами.

3.6.1. Регулирование скорости воздействием на поток возбуждения двигателя

Электроприводы с такими системами управления применяются в тех случаях, когда технологический агрегат состоит из нескольких однотипных механизмов, скорости исполнительных органов которых изменяются одновременно, с сохранением между ними определенных соотношений; эти соотношения могут изменяться в относительно небольших пределах при настройке технологического агрегата. В таких технологических агрегатах привод каждого механизма осуществляется отдельным электродвигателем. Якоря двигателей соединяются параллельно (через коммутационную аппаратуру) и питаются от одного ТП. Система регулирования этого ТП изменяет напряжение на якорях электродвигателей

соответственно заданному значению. Каждый электродвигатель снабжается индивидуальной системой регулирования скорости, действующей на его поток возбуждения. Сигнал задания скорости данного двигателя $u_{з,с}$ пропорционален сигналу задания напряжения (или ЭДС) $u_{зе}$, а коэффициент пропорциональности зависит от требуемого соотношения скоростей отдельных двигателей.

Система регулирования скорости отдельного двигателя, примененная в серии КТЭУ, изображена на рис. 3.36. Эта система является трехконтурной, и ее выходное напряжение определяет угол отпирания тиристорного возбудителя ТПВ, питающего обмотку возбуждения двигателя.

Внутренний контур является контуром регулирования тока возбуждения или ЭДС в зависимости от того, какой из двух сигналов $u_{д,т,в}$ или u_e больше. Обычно в рабочем диапазоне скоростей $u_e > u_{д,т,в}$.

Регулятор пропорционально-интегрального типа собран на усилителях А5, А6. Пропорциональная часть регулятора компенсирует постоянную времени обмотки возбуждения двигателя. Устройство умножения в цепи обратной связи А5 поддерживает постоянной частоту среза контура в режиме ослабления поля, т. е. при $u_{д,с} > u_{д,с,ном}$.

Задающим сигналом является напряжение $u_{зе}$, пропорциональное напряжению якорного ТП. Значение $u_{е0}$ обычно несколько меньше номинального значения $u_{зе}$ и задает номинальный ток возбуждения. В режиме стоянки привода при разомкнутой главной цепи включается ключ К1, отключает $u_{е0}$ и задает напряжение, обеспечивающее ток возбуждения $i_{в min}$, что уменьшает нагрев обмотки возбуждения. Кроме того, на

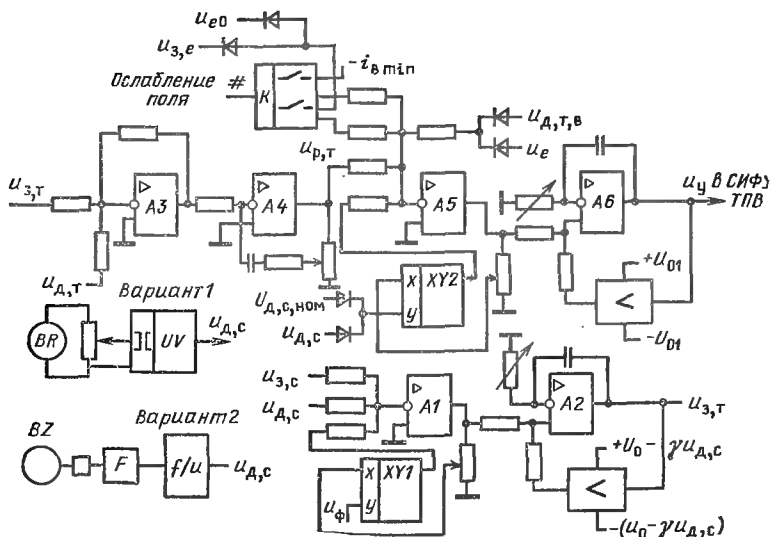


Рис. 3.36. Система регулирования скорости воздействием на поле двигателя

вход регулятора поступает в качестве дополнения к заданию выходное напряжение регулятора тока.

Регулятор тока также пропорционально-интегрального типа и выполнен на усилителях $A3, A4$. Напряжение задания тока $u_{з,т}$ формируется на выходе регулятора скорости, собранного на усилителях $A1, A2$. По схеме этот регулятор аналогичен приведенному на рис. 3.15.

Предусмотрено два варианта формирования сигнала обратной связи по скорости: с помощью тахогенератора BR и с помощью импульсного датчика BZ , на выходе которого устанавливается формирователь импульсов F и преобразователь частота — напряжение $u_{д,с}$.

3.6.2. Регулирование скорости электроприводов станков холодной прокатки

К электроприводам клетей станков холодной прокатки предъявляются достаточно высокие требования по точности поддержания соотношения скоростей, что обеспечивает постоянство толщины прокатываемой полосы; однако в режиме заправки полосы в клетки стана механические характеристики электроприводов должны быть смягчены, и по мере увеличения скорости прокатки статизм характеристик должен плавно уменьшаться до нуля. Система управления, реализующая эти требования и применяющаяся в электроприводах серии КТЭУ, изображена на рис. 3.37.

Регуляторы тока AA и скорости AR аналогичны приведенным на рис. 3.2 и 3.15 соответственно. Сигнал задания скорости $u_{з,с}$ является суммой эталонного напряжения $u_{эт}$, формируемого в системе управления станом (СУС), и выходного напряжения Δu_h регулятора толщины и межклетевых напряжений. При $u_{эт}=0$ можно задать небольшую скорость толчка u_t через задатчик интенсивности AI . Если под действием сигнала Δu_h напряжение $u_{з,с}$ превзойдет максимально допустимое значение, то на выходе нелинейного преобразователя AFI появится сигнал $\Delta \omega$, поступающий в СУС и уменьшающий $u_{эт}$.

Сигнал обратной связи по скорости формируется при помощи тахогенератора. Предусматривается коррекция его показаний с помощью импульсного датчика BZ и преобразователя частота — напряжение UZ . На выходе ОУ $A5$ образуется разность, пропорциональная $u_z - u_{д,с}$, которая добавляется к сигналу обратной связи на входе регулятора скорости.

Для смягчения механических характеристик при заправке полосы служит узел, состоящий из ОУ $A7$ и $A8$, нелинейного преобразователя $AF2$, имеющего характеристику зоны нечувствительности, и устройства умножения. Выходное напряжение усилителя $A8$ пропорционально статическому току, так как на его входе из сигнала $u_{з,т}$, пропорционального полному току двигателя, вычитается сигнал $du_{эт}/dt$, пропорциональный динамическому току.

При $u_{эт} < U_{эт0}$ выходное напряжение усилителя $A7$ равно напряжению задания компаундирования $u_{з,к}$, и выходное напряжение устройства умножения, пропорциональное $u_{з,к} i_{ст}$, вычитается из сигнала задания скорости, что смягчает механическую характеристику двигателя. Когда же при возрастании $u_{эт}$ станет больше $U_{эт0}$, выходное напряжение усилителя $A7$ начнет уменьшаться, и соответственно уменьшится напряжение на выходе $A7$; u_k плавно уменьшается до нуля при $u_{д7}=0$.

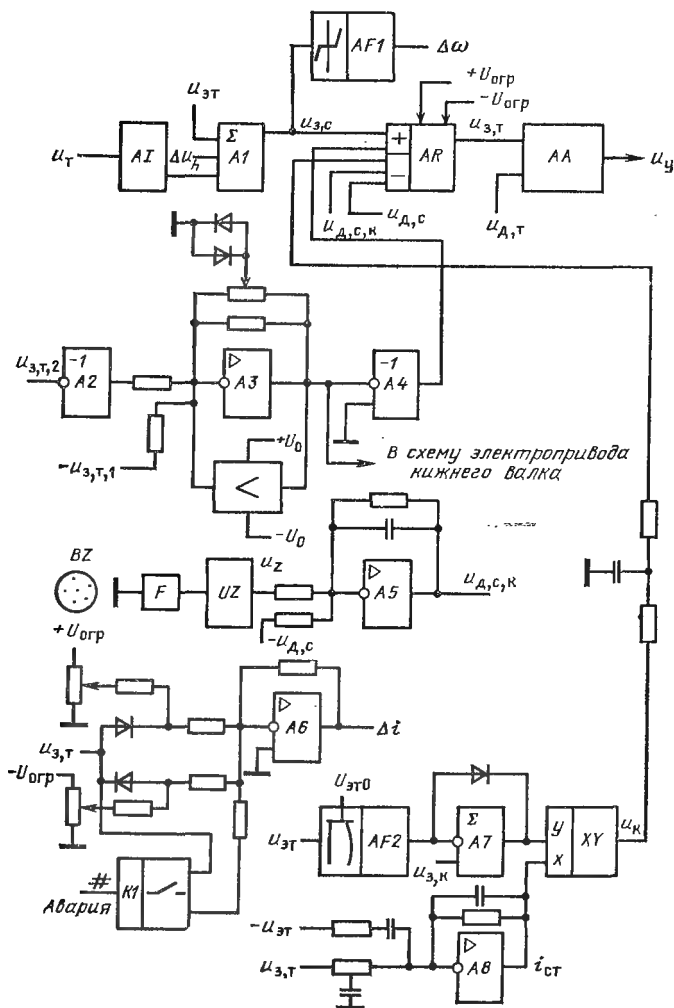


Рис. 3.37. Система управления приводом клетки стана холодной прокатки

В системе управления предусмотрены формирование сигнала перегрузки Δi и выдача его в СУС. Соответствующая схема выполнена на усилителе $A6$. Напряжения ограничения получают из регулятора скорости (см. рис. 3.15). Напряжение Δi появляется при $u_{3T} > U_{огр}$. В режиме аварии, когда электродвигатель переводится в режим динамичес-

кого торможения, в системе СУС организовано слежение скорости стана за скоростью аварийной клетки. С этой целью в СУС выдается сигнал Δi при $U_{сгр}=0$, т. е. выход регулятора скорости, зависящий от разности $u_{вт}-u_{д,с}$.

Клеть стана холодной прокатки имеет, как правило, индивидуальный привод валков (верхнего и нижнего) от отдельных ТП. Для выравнивания нагрузок двигателей валков служит узел выравнивания, выполненный на усилителях $A2-A4$. В схеме вместо сигналов датчиков токов используются сигналы задания токов $u_{з,т1}$, $u_{з,т2}$. Характеристика узла имеет зону малой чувствительности при малых рассогласованиях $u_{з,т1}-u_{з,т2}$ благодаря включению диодов в цепь обратной связи $A3$, а также ограничение максимального воздействия по цепи выравнивания.

3.6.3. Регулирование скорости электроприводов изменением направления потока возбуждения

Рассмотрим системы управления электроприводами серии КТЭУ для шахтных подъемных машин (ШПМ) и электроприводами серии ЭТРП.

Электроприводы ШПМ большой мощности выполняются по схеме: нереверсивный ТП — реверсивный ТПВ, причем за счет возбуждения осуществляется и изменение направления вращения, и режим рекуперации при торможении. Схема управления изображена на рис. 3.38.

К схеме управления электроприводом ШПМ предъявляется требование плавного разгона с плавным формированием значения ускорения (т. е. ограничение рывка). Скорость ШПМ задается поворотом сельсин-

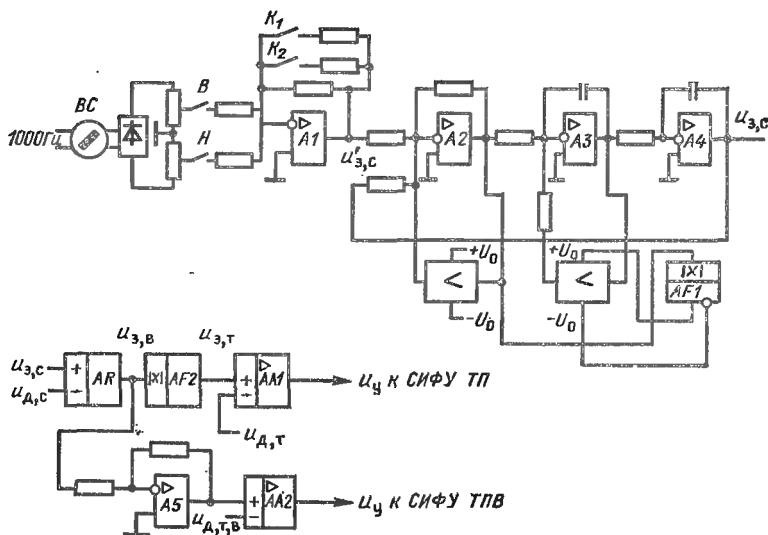


Рис. 3.38. Система управления электроприводом шахтной подъемной машины

ного командоаппарата BC , а направление перемещения — ключами B и H . При замыкании ключей $K1, K2$ устанавливается минимальная или промежуточная скорости. Задатчик интенсивности, выполненный на ОУ $A2—A4$, ограничивает значения ускорения и рывка (обычно время разгона составляет 10—20 с, а время нарастания ускорения — 1—2 с). Усилитель $A2$ работает в режиме, близком к релейному, интегратор $A3$, ограничивающий значение рывка, имеет постоянную интегрирования, в несколько раз меньшую, чем интегратор $A4$, задающий значение ускорения. Напряжение ограничения усилителя $A3$ равно выходному напряжению $A2$. При подаче, например, сигнала на разгон ОУ $A2$ насыщается, напряжение выхода $A3$ изменяется по линейному закону, а выхода $A4$ — по параболе. После того как усилитель $A3$ войдет в режим насыщения, $u_{з,с}$ далее будет изменяться по линейному закону. Когда $u_{з,с}$ приближается к заданному значению, усилитель $A2$ выходит из режима насыщения, выходное напряжение $A3$ плавно уменьшается до нуля, и изменение $u_{з,с}$ прекращается. Устойчивость двух последовательно соединенных интеграторов, охваченных обратной связью, обеспечивается за счет снижения ограничения первого интегратора до нуля при $u'_{з,с} = u_{з,с}$.

Между регуляторами скорости AR и тока $AA1$ включено устройство выделения модуля $AF2$, а знак выхода регулятора скорости задает полярность тока возбуждения двигателя. Параметры ОУ $A5$ выбираются так, что при $i=0,5I_{ном}$ $\Phi=\Phi_{ном}$. При торможении полярность $u_{з,в}$ изменяется на обратную, что влечет за собой изменение направления потока возбуждения и переход электропривода в инверторный режим. После окончания торможения знак $u_{з,в}$ и полярность тока возбуждения возвращаются к первоначальным значениям.

Система управления электроприводом серии ЭТП изобразена на рис. 3.39. Регулятор тока AA имеет схему, приведенную на рис. 3.1. Регулятор скорости выполнен на усилителе $A1$. Усилитель $A2$ и ключ K обеспечивают сохранение неизменной полярности напряжения задания тока $u_{з,т}$ ($u_{з,т} \geq 0$).

Ключ K управляется компаратором $AU1$, на входе которого сравниваются напряжения $u_{з,с}$ и $u_{д,с}$. На выходе $A2$ включена цепь токоограничения. Система регулирования полем двигателя двухконтурная: регулятор ЭДС собран на ОУ $A3$, а подчиненный ему регулятор тока возбуждения — на $A4$. Компаратор $AU1$ управляет работой логического переключающего устройства (ЛПУ) тиристорного возбудителя.

Если, например, необходимо снизить скорость двигателя или изменить ее направление, то при $u_{з,с} < u_{д,с}$ компаратор $AU1$ переключается, подавая сигнал на переключение выпрямительных мостов возбудителя; ток возбуждения начинает снижаться. Одновременно ЛПУ выдает сигнал на вход $A3$ для снижения задания тока возбуждения и на вход AA для перевода якорного ТП в инверторный режим, что приводит к спаданию тока якоря двигателя. Полярность $u_{з,т}$ не изменяется, так как переключается ключ K . После спадания тока возбуждения до нуля включается другой выпрямительный мост, и ток возбуждения нарастает в противоположном первоначальному направлении. Одновременно снижается сигнал от ЛПУ, и ток якоря нарастает до значения, соответствующего $u_{з,т}$. Начинается процесс рекуперативного торможения. Если происходит процесс подтормаживания, то после снижения скорости до заданного значения ($u_{д,с} \leq u_{з,с}$) компаратор $AU1$ опять переключается,

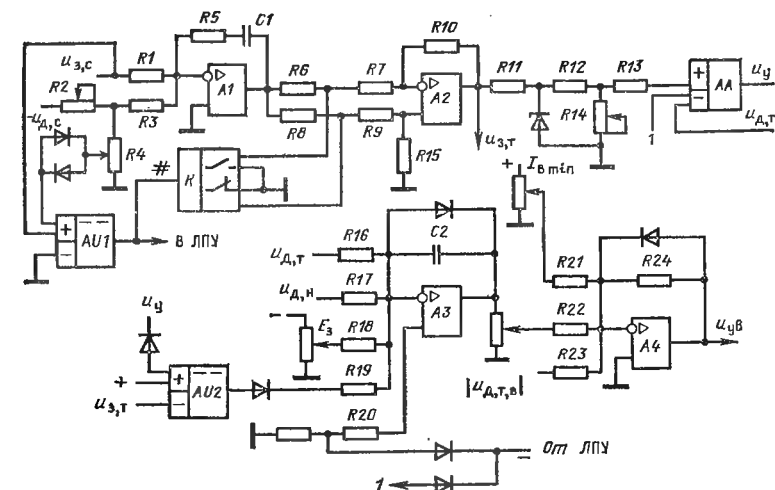


Рис. 3.39. Система управления электроприводом серии ЭТРП:

$R_1=5,1$ кОм, $R_2=34$ кОм, $R_3=30$ кОм, $R_4=65$ кОм, $R_5=R_{16}=510$ кОм, $R_6=R_7=R_8=R_9=R_{14}=R_{15}=R_{18}=R_{23}=10$ кОм, $R_{10}=R_{13}=R_{21}=R_{22}=20$ кОм, $R_{11}=150$ кОм, $R_{12}=3$ кОм, $R_{17}=51$ кОм, $R_{18}=100$ кОм, $R_{20}=1,5$ кОм, $C_1^*=2,2$ мкФ, $C_2^*=3,2$ мкФ

и направление тока возбуждения возвращается к первоначальному. Если же задан сигнал на реверс, то повторного переключения $AU1$ не происходит, и ток возбуждения сохраняет новое направление, обеспечивая изменение вращения двигателя. Компаратор $AU2$ служит для улучшения диаграммы динамического тока двигателя при предельных значениях U_y , когда запас напряжения ТП недостаточен, путем дополнительного воздействия на поле двигателя в направлении его уменьшения.

Раздел 4

НАЛАДКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТИРИСТОРНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

4.1. Контрольно-испытательное оборудование

Для наладки комплектных тиристорных электроприводов на предприятии-изготовителе с целью их доводки до показателей, соответствующих техническим условиям, а также при эксплуатации на промышленном объекте используется специальное контрольно-испытательное оборудование. Оно, как правило, поставляется вместе с электроприводами. Хотя требования к производительности, стоимости, габаритным

размерам испытательного оборудования, применяемого на заводе — изготовителе электроприводов и поставляемого комплектно с электроприводами, различны, тем не менее в целях унификации для обеих этих целей применяются одни и те же стенды.

При наладке и эксплуатации электроприводов используются приборы и аппараты как универсального назначения, так и специализированные, разрабатываемые и изготавливаемые аппаратостроительными и приборостроительными заводами и организациями Главэлектромонтажа Минмонтажспецстроя СССР. Перечень и основные технические характеристики таких аппаратов и приборов приведены в [3]. Здесь приводятся сведения о контрольно-испытательном оборудовании, выпускаемом и применяемом изготовителями комплектных тиристорных электроприводов и, как правило, поставляемом по требованию заказчика комплектно с ними. Перечень такого оборудования приведен в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Наименование стенда	Назначение	Примечание
Стенд испытательный СП-1АИ	Проверка и настройка аналоговых ячеек управления серии ЯФУ на предприятии-изготовителе в процессе эксплуатации	Поставляется комплектно с электроприводами серии КТЭУ (по указанию в заказе)
Стенд испытательный СПЯ-1ДИ	Проверка дискретных ячеек управления серии УБСР-ДИ с применением микросхем малой и средней степени интеграции на предприятии-изготовителе и в процессе эксплуатации	Поставляется в виде самостоятельного изделия
Стенд испытательный СПЯ-3ДИ	Проверка дискретных ячеек управления с применением микросхем, имеющих напряжение питания +15 В (серии К511), на предприятии-изготовителе и в процессе эксплуатации	То же
Стенд испытательный типа ШПС8026	Проверка и настройка ячеек управления тиристорными преобразователями на предприятии-изготовителе и в процессе эксплуатации	Поставляется комплектно с электроприводами серии КТЭУ (по указанию в заказе)

Продолжение табл. 4.1

Наименование стенда	Назначение	Примечание
Стенд испытательный СПБ-1АИ	Предназначен для проверки блоков управления с аналоговыми ячейками управления на предприятии-изготовителе	Поставляется комплектно с электроприводами серии КТЭУ (по указанию в заказе)
Стенд испытательный по чертежу 4БХ609512	Проверка силовых субблоков типа СВУ на предприятии-изготовителе КТЭУ	То же
Пульт проверки типа ТИАК. 656615.001	Предназначен для проверки ячеек и блоков управления, входящих в состав электроприводов КТЭ, ТПП1	Поставляется комплектно с электроприводами
Стенд испытательный типа ШПС8016	Проверка силовых блоков типа БВО на предприятии-изготовителе и в процессе эксплуатации	Поставляется комплектно с электроприводами серии КТЭУ (по указанию в заказе)
Устройство контроля монтажа типа УКМ	Контроль проводного монтажа блоков, шкафов и определения ошибок типа «обрыв в цепи», «лишняя связь»	Только для завода-изготовителя электроприводов
Стенд испытательный СПМ-1АИ	Проверка и настройка аналоговых элементов системы управления серии ЭКТ на предприятии-изготовителе и в процессе эксплуатации	Поставляется комплектно с электроприводами серии КТЭУ (по указанию в заказе)
Стенд испытательный СПМ-2АИ	Проверка и настройка ячеек управления преобразовательной частью электроприводов серии ЭКТ	То же

Стенд СП-1АИ питается от сети переменного тока 380 В, 50 Гц. Потребляемая мощность 350 В·А. Стенд обеспечивает формирование следующих напряжений:

Напряжение питания аналоговых элементов, В . . .	$\pm 15 - \pm 0,3$
Напряжение питания логических элементов, В . . .	$+15 \pm 0,3$
Входные напряжения логических разделителей; и преобразователей уровня, В	$+80 \pm 1,2;$ $+24_{-3,6}^{+2,4}$
Напряжение питания сельсинных задатчиков при частоте 1000 ± 100 Гц, В	$26 \pm 3,9$
Диапазон уставки срабатывания нуль-органов, В . .	$0 - \pm 0,05;$ $0 - \pm 0,35$

Дополнительная аппаратура к стенду—осциллограф по типу С1-19Б, комбинированный прибор типа «тестер». Принцип проверки ячейки на стенде следующий: испытуемая ячейка соединяется со стендом через адаптер соответствующего типа, представляющий собой печатную плату с разъемом-вилкой для включения в разъем-розетку стенда и разъемом-розеткой (с противоположной стороны) для соединения с испытуемой ячейкой. На адаптере устанавливаются необходимые активные и пассивные элементы, связи между которыми и между вилкой и розеткой определяют схему проверки ячейки. Проверка ячейки осуществляется по программе, содержащей не более шести шагов. Каждый шаг выполняется при нажатии соответствующей кнопки на стенде, при этом на входы ячейки автоматически подаются необходимые по программе ее проверки входные сигналы и проверяется состояние выходов по состоянию лампы стенда «исправно» и по состоянию светоизлучающих диодов испытуемой ячейки, а также при помощи дополнительного осциллографа.

Входными сигналами являются пилообразное напряжение для проверки линейных и нелинейных аналоговых преобразователей, прямоугольное переменное напряжение для проверки реакции ОУ в режимах пропорционального и пропорционально-интегрального регуляторов, логические сигналы 0 и 1, соответствующие уровням сери К511, напряжение $+24$ и $+80$ В для управления оптронами. Выходными сигналами являются:

1) напряжение ОУ при подаче на вход напряжения $u_{вх}=0$ и установке при помощи резисторов испытуемой ячейки Уставка нуля выходного напряжения ОУ $u_{вых}=0 \pm 0,05$ В; напряжение ОУ при подаче на вход напряжения $u_{вх}=\pm 10$ В и закорачивании цепи обратной связи ключом бесконтактного реле. Выходное напряжение ОУ контролируется нуль-органом, на выходе которого логический 0, если контролируемое напряжение не выходит за пределы допуска;

2) логические сигналы 0 и 1 в схемах логики на микросхемах серии К511; они контролируются схемой сигнализации стенда;

3) выходное напряжение ОУ при подаче на его вход пилообразного или прямоугольного напряжения; оно контролируется при помощи осциллографа.

Общая последовательность проверки ячеек: установить регулируемые резисторы испытуемой ячейки в требуемое по инструкции положение.

ние, установить необходимые переключки на контактных точках платы; соответствующий данной ячейке адаптер установить в розетку стенда; испытываемую ячейку установить в розетку адаптера; включить питание испытываемой ячейки; поочередно включать клавиши переключателей *Шаги проверки*. На каждом шаге в соответствии с программой испытаний проводится контроль исправности ячейки. По указанию в программе на каждом шаге возможна установка параметров ячейки при помощи переменных резисторов с контролем установки по состоянию лампы стенда *Исправно*.

Стенд конструктивно представляет собой устанавливаемый на полу пульт с наклонной крышкой размером 600×700 мм, на которой размещены элементы управления и контроля.

Стенды *СПЯ-1ДИ* (для проверки и наладки ячеек с микросхемами, имеющими напряжение питания $+5$ В) и *СПЯ-3ДИ* (для проверки и наладки ячеек с напряжением питания $+15$ В) по конструкции и по принципу работы одинаковы. Они имеют до 60 трехпозиционных переключателей для коммутации входных и выходных цепей испытываемых ячеек, около 50 светоизлучающих диодов для индикации выходных сигналов, а также генераторы сигналов специальной формы: прямоугольных импульсов стабильной частоты, одиночных прямоугольных импульсов и др. Перед проверкой переключатели стенда устанавливаются в необходимое по программе испытаний положение, соответствующее подаче на требуемый контакт разъема логической 1, логического 0 или подсоединению этого контакта к светоизлучающему диоду. Затем ячейка вставляется в розетку стенда, включается питание, и по состоянию светоизлучающих диодов (а в некоторых случаях с помощью осциллографа) наблюдают за выходными сигналами ячейки. Стенды выполнены в виде напольного пульта с наклонной крышкой размером 1000×700 мм. Потребляемая мощность 300 В·А.

Пульт типа ТИАК.656615.001 имеет следующие технические данные:

Напряжение встроенных источников питания, В:	
стабилизированных	$\pm(14 \pm 0,1)$
нестабилизированных	$\pm(13,5 \pm 0,3)$
Число свободно используемых, шт.:	
тумблеров	16
переменных резисторов	4
кнопок	2
контрольных гнезд	13
светоизлучающих диодов	12
Напряжение питания пульта, В	380
Период повторения сигналов, с	0,1—1

В пульте формируются тестовые сигналы:

переменное прямоугольное напряжение 50 ± 5 кГц, $12 \pm 2,5$ В;

прямоугольное напряжение, регулируемое по частоте в диапазоне 0,7—12 Гц и по амплитуде в диапазоне от нуля до 10 В, а также с регулированием длительности фронтов в диапазоне от 0,5 до 3,5 мс;

набор напряжений специальной формы для испытаний ячеек СИФУ;

прямоугольные импульсы различной частоты, длительности и амплитуды;

двухполярное пилообразное напряжение амплитуды $8 \pm 0,8$ В, длительностью $10 \pm 0,2$ мс.

Пульт выполнен в виде настольного прибора со сменными объединительными платами, на которых расположены разъемы для подключения проверяемых устройств. Каждая плата рассчитана на проверку определенных групп ячеек или блоков. На пульте закреплена панель управления с расположенными на ней органами контроля и управления, с помощью которых осуществляется коммутация сигналов, необходимых для проверки ячеек и блоков. В состав пульта также входят генераторы тестовых сигналов.

Стенд (пульт) типа ШПС8026 является специализированным устройством для проверки и наладки ячеек управления, входящих в состав преобразовательной части электроприводов серии КТЭУ; в его состав включены узлы, генерирующие необходимые для этой цели напряжения и тестовые сигналы. Контроль функционирования ячеек осуществляется с помощью осциллографа и электроизмерительных приборов. Проверка некоторых типов ячеек выполняется путем сравнения реакций испытуемых и эталонных ячеек на тестовые сигналы. Подача логических сигналов производится с помощью тумблеров, питание стенда от сети 380 В, потребляемая мощность 150 В·А. Конструктивно стенд выполнен в виде напольного пульта, имеющего в плане габаритные размеры 1250×1315.

Стенд СПБ-1АИ питается от трехфазной сети 380 В и вырабатывает напряжения, необходимые для питания испытуемых блоков управления: 220 В однофазное переменное, нестабилизированное напряжение постоянного тока 9, 12, ± 24 , 80 В, стабилизированное напряжение постоянного тока ± 15 , ± 5 В. Диапазон изменения входных и выходных напряжений ± 10 В. Испытуемый блок подключается к стенду через переходное устройство — адаптер, которое соединяет разделенные входы — выходы стенда с необходимыми контактами разъемов испытуемого блока. На стенде имеются четыре гнезда для подсоединения адаптеров, отличающихся составом аналоговых и логических входов, числом входов на оптронные развязки, числом выходных сигналов и т. п.

Входными сигналами для проверки блока являются логические сигналы 0 и 1 для микросхем серии К511 — 20 шт., для серии К155 — 4 шт.; входные сигналы 80 В для оптронов — 36 шт.; аналоговые напряжения ± 10 В — 16 цепей; пилообразное и прямоугольное напряжения частотой 0,5 и 20 Гц амплитудой 10 В; положительные прямоугольные импульсы частотой 32, 64 и 128 Гц.

Исправность блоков определяется по состоянию сигнализации стенда и по показаниям электроизмерительных приборов, а также с помощью осциллографа. Габаритные размеры стенда в плане 1585×1076 мм. Потребляемая мощность 450 В·А.

Пульт для проверки силовых субблоков типа СВУ, например, с тиристорами типов Т9-160, Т9-250 имеет два рабочих места: *Проверка силового блока* и *Проверка изоляции блока*. Питание пульта осуществляется от трехфазной сети 380 В. Потребляемая мощность 3 кВт·А. В состав пульта входят узлы, формирующие импульсы управления на тиристор испытуемого блока, включенный в однофазную однополупериодную схему выпрямления. Контроль исправности тиристора выполняется по наблюдению с помощью осциллографа за падением напряжения на тиристоре. Изоляция цепей силового блока относительно корпуса контролируется мегаомметром.

Конструктивно стенд представляет собой напольную конструкцию, имеющую в плане габаритные размеры 1250×1315 мм.

Стенд (пульт) типа ШПС8016 предназначен для испытания и наладки блоков типа БВО всех исполнений. Он имеет два рабочих места: Проверка блока, Проверка изоляции блока. Питание пульта осуществляется от трехфазной сети 380 В. Потребляемая мощность 3 кВт·А. Методика проверки блока такая же, как и на предыдущем стенде. Габаритные размеры стенда в плане 1900×1300 мм.

Устройство контроля монтажа типа УКМ является автоматическим устройством, которое после соединения его входных разъемов или контактов с разъемами или контактами испытуемого изделия проводит опрос всех контактов с частотой 100 кГц и выполняет анализ результатов опроса, т. е. определяет, является ли данная связь правильной, ошибочной или вообще отсутствует. Информация о необходимых связях особым образом кодируется на перфоленте с помощью ЭВМ типа ЕС1022. В устройство УКМ эта информация вводится с помощью фотосчитывателя. Информация о погрешностях выдается на печатающую машину типа «Строка 190».

Технические данные устройства:

Напряжение питания:	
трехфазная сеть переменного тока, В	380
однофазная сеть переменного тока, В	220
Потребляемая мощность, В·А:	
от источника 380 В	300
от источника 220 В	100
Носитель входной информации	Восьмидоро- жечная перфолента
Количество проверяемых точек	4096

Стенд СПМ-1АИ питается от сети переменного тока 380 В, 50 Гц. Потребляемая мощность не более 400 В·А.

На стенде испытываются блоки питания, датчиков, аналоговые ячейки задатчиков и регуляторов, а также логические ячейки аварийной и предупредительной сигнализации, являющиеся элементной базой систем управления комплектных тиристорных электроприводов серии ЭКТ.

Стенд имеет следующие технические данные:

Напряжение питания блока питания и блока датчиков — трехфазное, 50 Гц, В	$19^{+1,9}_{-2,85}$
Напряжение питания аналоговых элементов, В	$\pm 15 \pm 0,3$
Напряжение питания логических элементов, В	$15 \pm 0,3$
Входные напряжения логических разделителей, В . . .	$24^{+2,4}_{-3,6}$
Переменное пилообразное напряжение частотой 0,5 и 20 Гц для проверки аналоговых преобразователей — амплитуда, В	± 10
Переменное прямоугольное напряжение частотой 0,5 и 20 Гц для проверки интегральных и пропорционально-интегральных регуляторов — амплитуда, В	± 10
Уставка срабатывания индикаторов напряжения, В . . .	$\pm 0,05;$ $\pm 0,325$

Продолжение

Количество шагов ручной проверки	9
Количество шагов автоматической проверки	10
Длительность шага автоматической проверки, с	$1,2 \pm 0,24;$ $2,4 \pm 0,48;$ $6 \pm 1,2$
Дополнительная аппаратура к стенду	Осциллограф по типу С1-68

Проверяемый элемент соединяется со стендом с помощью адаптера, реализующего схему и программу испытаний.

Испытания осуществляются в ряд шагов (этапов), на каждом из которых проверяется определенный узел схемы или ряд узлов. Счет шагов осуществляется специальным узлом стенда с индикацией номера шага на цифровых индикаторах.

В тех случаях, когда на шагах испытаний требуется регулировка переменных резисторов, установка перемычек или контроль выходных сигналов по экрану осциллографа, применяется ручной режим, при котором переключение шагов осуществляется оператором после окончания каждого этапа.

Контроль выходных параметров выполняется в соответствии с программой испытаний по состоянию сигнальной лампы *Исправно*, по состоянию узла индикации испытуемого элемента или по форме выходных сигналов на экране осциллографа.

При необходимости определения, находится ли некоторый параметр в поле допуска на каждом шаге, применяется автоматический режим с автоматическим переключением шагов при условии нормального функционирования проверяемого узла на предыдущем шаге. Если измеряемый параметр на каком-либо шаге выходит из поля допуска, переключение шагов прекращается, на цифровом индикаторе фиксируется номер шага, в котором обнаружена неисправность.

Испытание аналогового элемента возможно в ручном, автоматическом или в обоих режимах в той или иной последовательности в соответствии с программой испытаний, определяемой адаптером.

Стенд СПМ-2АИ питается от сети переменного тока 380 В, 50 Гц. Потребляемая мощность не более 100 В·А.

На стенде испытываются ячейки управления преобразовательной частью электроприводов серии ЭКТ.

Стенд имеет следующие технические данные:

Напряжение питания фильтров — трехфазное, В	40^{+4}_{-6}
Напряжение питания ячеек КСН — трехфазное, В	$27^{+2,7}_{-4}$
Напряжение питания ячеек УАС — трехфазное, В	220^{+22}_{-33}
Напряжение питания импульсных узлов, В	$40^{+4}_{-6}, 70^{+7}_{-10,5}$
Напряжение питания ячеек, В	$\pm 15 \pm 0,3$

Продолжение

Количество этапов (видов) проверки	16
Количество шагов проверки на каждом этапе	6
Дополнительная аппаратура к стенду	Осцилло- граф по типу С1-68

Проверяемая ячейка соединяется со стендом с помощью адаптера, реализующего схему и программу испытаний.

Испытание осуществляется в ряд этапов, задающих вид проверки, на каждом из которых проверяется ряд однотипных каналов ячейки. Каждый канал испытывается на определенном шаге в данном этапе.

Счет этапов и шагов осуществляется специальным узлом стенда с индикацией номера шага на цифровых индикаторах.

Переключение этапов производится оператором. Переключение шагов возможно как оператором вручную, так и автоматически при условии нахождения проверяемого параметра в поле допуска на предыдущем шаге.

Контроль выходных параметров выполняется в соответствии с программой испытаний по состоянию индицирующего светоизлучающего диода стенда или по форме выходных сигналов на экране осциллографа.

4.2. Наладка электроприводов

Целью наладки электропривода на объекте является доведение электрооборудования до требований, предъявляемых технологическим процессом. Электрооборудование подвергается приемо-сдаточным испытаниям на заводе-изготовителе. Тем не менее в процессе наладки на объекте, как правило, повторяется определенная часть этих испытаний, что вызвано следующими обстоятельствами:

1) при транспортировании, хранении, монтаже возможны повреждения отдельных элементов электрооборудования;

2) типовая программа приемо-сдаточных испытаний на заводе-изготовителе, как правило, не учитывает всех требований конкретного технологического механизма;

3) при проведении приемо-сдаточных испытаний не все элементы электрооборудования могут быть испытаны при номинальных значениях нагрузок;

4) некоторые крупногабаритные комплектующие устройства (трансформаторы, реакторы) могут поступать на объект непосредственно с их заводов-изготовителей, минуя испытательную станцию изготовителя комплектного электропривода.

При наладке используются вспомогательные элементы, встроенные в шкафы электропривода, и дополнительные устройства: комбинированный переносный прибор («тестер»), электронно-лучевой осциллограф, мегаомметр для контроля изоляции, датчик логических и аналоговых сигналов и др. «Тестер» позволяет измерять уровни напряжений постоянного и переменного тока и сопротивления резисторов. Осциллограф служит для наблюдения за характером протекания переходных процессов и импульсными последовательностями в различных точках системы, для точного измерения значений напряжений без потребления тока от их ис-

точников. Задатчик позволяет подавать напряжения различного уровня и полярности на входы аналоговых и логических элементов, причем эти напряжения могут иметь вид прямоугольных колебаний желаемой амплитуды и частоты, что облегчает проверку динамических характеристик. Ряд приборов и аппаратов, облегчающих наладку электропривода, разработан в организациях Главэлектромонтажа Минмонтажспецстрой СССР [3].

Объем и последовательность наладочных работ зависят от состава электропривода, сложности его системы регулирования, схемных и конструктивных особенностей. Ниже приводится примерная последовательность наладочных работ применительно к электроприводам серии КТЭУ средней и большой мощности с регулированием скорости. Изложенное в значительной мере применимо к электроприводам серии КТЭ, а также в части, соответствующей их составу, к преобразовательным агрегатам серий ТПП1, ТЕ, ТВ. Предполагается, что ячейки управления прошли проверку на стендах, описанных в § 4.1.

1. Проверка комплектности электропривода, паспортных данных его составных частей.

2. Проверка правильности монтажа (выполняемая по принципиальной схеме электропривода с уточнением по монтажным схемам) для учета возможных ошибок и изменений, которые были внесены изготовителем после выпуска рабочего проекта электрооборудования.

3. Контроль сопротивления изоляции, осуществляемый мегаомметром с номинальным напряжением, определяемым рабочим напряжением тех цепей, в которых это сопротивление измеряется. Для цепей с номинальным напряжением выше 500 В используют мегаомметр на 1000 В, для остальных силовых цепей и цепей вторичной коммутации — мегаомметр на 500 В. Для цепей блоков и ячеек управления используется мегаомметр на 100 В. Сопротивление измеряют между фазами питающих напряжений, фазами и корпусом, шинами выпрямленного напряжения и корпусом, общей точкой системы управления и корпусом, выведенными на клеммники щитов цепями вторичной коммутации и корпусом, шинами питания в блоках управления между собой (при вынутых ячейках управления) и корпусом. При этих измерениях должны быть отключены те элементы, узлы и устройства, через которые возможна гальваническая связь точек схемы, между которыми измеряют сопротивление изоляции. В частности, должны быть отключены двигатели вентиляторов и щитовые приборы, цепь контроля изоляции, выпуты из разъемов силовые блоки с тиристорами (или отключены подсоединения к тиристорам), отключены разъемы блоков управления, отсоединена шина общей точки. Сопротивление изоляции в холодном состоянии не должно быть менее 5 МОм.

4. Проверка электрической прочности изоляции с помощью передвижной испытательной установки переменного напряжения. Значение испытательного напряжения 2000 В для цепей с номинальным напряжением до 500 В и $2,5U_{ном} + 1000$, но не менее 3000 В для цепей с номинальным напряжением выше 500 В. При испытаниях соединяются между собой входные и выходные цепи якорного ТП, входные и выходные цепи возбуждателя ТПВ, цепи оперативного напряжения. Электрическая прочность изоляции проверяется как между указанными цепями, так и между этими цепями и корпусом.

5. Фазировка трансформатора опорных напряжений, которая выпол-

няется путем соответствующих соединений обмоток этого трансформатора в зависимости от схемы соединений силового трансформатора $ТМ$ и источника опорного напряжения $U_{оп}$. Схема подключений в СИФУ выполнена таким образом, что если сдвиг между вторичным напряжением $ТМ$ и источником $U_{оп}$ отсутствует, то сдвиг должен отсутствовать и в напряжении опорного трансформатора.

6. Включение питания цепей управления, проверка уровней напряжений и значений пульсаций на выходах выпрямителей и стабилизаторов напряжений.

7. Наладка СИФУ. Ее начинают с проверки правильности чередования опорных напряжений, значений амплитуд ($8 \pm 0,5$ В) и фазового сдвига опорных синусоид. Устанавливают углы начального согласования характеристик α_0 , ограничения α_{min} , α_{max} , длительности бестоковой паузы t_n , чувствительности нуля-органа датчика нулевого тока $U_{но}$. Затем проверяют работу СИФУ по наличию управляющих импульсов на всех тиристорах и их смещению при изменении напряжения управления U_y . На каждом тиристоре должны присутствовать два импульса со сдвигом в 60° и с периодом повторяемости 360° . Длительность каждого импульса 400—500 мкс. При $U_y = 0$ первый импульс выдается в точке, соответствующей $\alpha = \alpha_0$, и при увеличении U_y (для группы «Вперед») угол α уменьшается, пока не достигнет значения α_{min} , после чего дальнейшее изменение угла α прекращается. При $U_y < 0$ угол α увеличивается, пока не достигнет значения α_{max} , после чего дальнейшее изменение α прекращается. Для группы «Назад» полярность U_y противоположная, при этом управляющие импульсы должны присутствовать только на одной группе тиристоров — «Вперед» или «Назад», а при переключении сигнала выбора группы исчезать в одной группе и появляться в другой. Длительность бестоковой паузы проверяется при подаче знакопеременного прямоугольного напряжения частотой 50 Гц на вход схемы переключения, в течение времени t_n обе группы должны быть закрыты.

8. Проверка функционирования схем защит и сигнализации, выполняемая путем имитации аварийных сигналов и наблюдения за срабатыванием аппаратов. Проверяют защиты, срабатывающие при аварийных режимах в ТП и воздействующие на отключение автоматического выключателя нагрузки QF , цепи контроля перегорания предохранителей, наличие принудительной вентиляции, защиту от исчезновения напряжения собственных нужд. Проверку срабатывания защит электропривода также осуществляют имитацией аварийных режимов, причем на этом этапе осуществляется настройка нуля-органов защит электропривода таким образом, чтобы они не препятствовали сборке схемы выключателя QF (например, ноль-орган, фиксирующий обрыв поля двигателя, не должен выдавать аварийный сигнал, несмотря на отсутствие тока возбудителя). В результате должно включиться реле $РН$, разрешающее включение QF . Проверяется исправность светоизлучающих диодов индикации.

9. Включение силового напряжения на одну из выпрямительных групп при закороченной цепи нагрузки через сглаживающий реактор и шину большого сечения, допускающую протекание тока $I_d = (2 \div 3) I_{ном}$, при $U_y = 0$. В этой схеме проверяют фазировку ТП. На входы двухлучевого осциллографа подают фазное напряжение и напряжение на управляющем переходе тиристора. Первый импульс на управляющем переходе должен отставать от момента перехода через ноль соответствующего

фазного напряжения на угол $\alpha_0 + 30^\circ$. Форма тока нагрузки соответствует прерывистому режиму с длительностью $\lambda_0 = 2(120^\circ - \alpha_0)$.

При увеличении u_y ток нагрузки приобретает форму, характерную для режима непрерывного тока. Форма напряжения на выходе датчиков тока должна быть такая же, как и форма тока нагрузки. В форме напряжения на управляющих переходах всех тиристоров работающей группы должна наблюдаться площадка, соответствующая моментам открывания тиристора. При увеличении тока нагрузки до значения уставки защиты должен отключиться выключатель главной цепи QF .

Для реверсивных электроприводов описанную проверку производят для каждой из выпрямительных групп, при этом ячейки усиления импульсов неработающей группы вынимаются из блоков.

10. Наладка и проверка узла переключения выпрямительных групп, выполняемые путем установки значения тока нагрузки, соответствующего гасимому току I_r , и регулировки чувствительности узла таким образом, чтобы при этом токе выдавался сигнал разрешения переключения. Значение I_r соответствует $2 - 5\% I_{ном}$. При изменении полярности напряжения задания отпирающие импульсы появляются на другой выпрямительной группе. При увеличении тока нагрузки выше значения чувствительности узла изменение полярности напряжения задания не должно приводить к переключению групп.

11. Включение ТП на невозбужденный двигатель, настройка чувствительности и проверка полярности датчиков тока и напряжения, определение T_y путем подачи скачка напряжения u_y от значения, соответствующего гранично-непрерывному току $I_{гр}$ до значения $I_1 = (0,5 \div 0,8) I_{ном}$. Значение T_y равно времени уменьшения разности $I_1 - I_{гр}$ до 0,37 первоначального значения.

12. Проверка и настройка тиристорного возбудителя ТПВ, которая выполняется в той же последовательности, что и настройка ТП. При этом следует учитывать, что ТПВ является неререверсивным преобразователем и управляющие импульсы имеют длительность 120° (вместо двух коротких импульсов со сдвигом 60° в ТП). После проверки СИФУ и установки углов α_{min} , α_{max} включают напряжение питания ТПВ и проверяют изменение тока возбуждения при изменении u_y . Наблюдают форму тока и напряжения на обмотке возбуждения. Настраивают защиту от обрыва поля и перевозбуждения.

Определяют постоянную времени цепи возбуждения путем подачи скачка напряжения на вход ТПВ и наблюдения за изменением тока возбуждения на экране осциллографа. Постоянную времени цепи возбуждения находят так же, как и электромагнитную постоянную времени цепи якоря.

13. Настройка возбудителя тахогенератора в соответствии с инструкцией на блок возбуждения тахогенератора (БВТ) и номинальными данными тахогенератора.

14. Проверка диапазона изменения напряжения ТП путем изменения u_y от $+U_{ymax}$ до $-U_{ymax}$ при подключенном двигателе, ток возбуждения которого установлен близким к номинальному. Настройка чувствительности и полярности датчика напряжения тахогенератора. Настройка датчика ЭДС, которая выполняется следующим образом. При вращении двигателя в режиме холостого хода устанавливают нужный коэффициент передачи усилителя-измерителя ЭДС. При неподвижном двигателе и отключенном возбуждении двигатель загружают то-

ком, при этом потенциометр напряжения датчика тока на входе измерителя ЭДС устанавливают в такое положение, чтобы напряжение на входе измерителя было равно нулю. Для увеличения точности настройки значение тока должно быть $(1-1,5)I_{ном}$. Для исключения повреждения двигателя настройка должна выполняться быстро. Постоянную времени фильтра в цепи напряжения на входе измерителя выбирают равной $T_{дв}$ и уточняют по минимуму пульсаций на выходе измерителя.

15. Определение электромеханической постоянной времени T_m . Методы нахождения T_m приведены в [3]. Из более простых можно отметить методы выбега и разгона с постоянным током. При первом методе используется соотношение

$$T_m \frac{dE}{dt} = -I_{ст} R_{я}.$$

Вначале снимают зависимость $I_{ст} = f(U_{я})$, где $I_{ст}$ — ток холостого хода двигателя; $U_{я}$ — напряжение на якоре двигателя, которое незначительно отличается от ЭДС, так как ток холостого хода мал. На этой зависимости определяют участки постоянства $I_{ст}$. Изменяя u_y , устанавливают начальное напряжение на якоре двигателя равным $U_{н1}$ — максимальному значению напряжения на каком-то участке со статическим током $I_{ст1}$. После этого u_y скачком уменьшается до отрицательных значений, при этом ток нагрузки спадает до нуля и происходит торможение двигателя под действием статического тока $I_{ст1}$. Если Δt — время снижения ЭДС от начального значения $E_{н1}$ до конечного $E_{к1}$, то

$$T_m = I_{ст1} R_{я} \Delta t / (E_{н1} - E_{к1}).$$

Таким образом, для вычисления T_m необходимо знать сопротивление $R_{я}$, которое равно сумме сопротивления цепи якоря и эквивалентного сопротивления ТП; сопротивление цепи якоря может быть измерено по падению напряжения в цепи якоря, а сопротивление ТП — по изменению выходного напряжения ТП при его нагрузке в режиме непрерывного тока и неизменном напряжении управления u_y .

Разгон с постоянным током может быть осуществлен после наладки регулятора тока (см. далее). Если на участке разгона от $E_{н1}$ до $E_{к1}$ за время Δt ток двигателя постоянен и равен I_1 , то

$$T_m = (I_1 - I_{ст1}) R_{я} \Delta t / (E_{к1} - E_{н1}).$$

16. Установка расчетных параметров регулятора тока, проверка прохождения сигналов в регуляторе.

17. Включение ТП на неподвижный невозбужденный двигатель при собранном регуляторе тока. (При этом нуль-орган, фиксирующий обрыв поля двигателя, настраивают так, чтобы не препятствовать сборке цепи нагрузки). Проверяют изменение тока нагрузки во всем диапазоне от $+I_{max}$ до $-I_{max}$ путем изменения напряжения задания тока $u_{з,т}$. Проверяют динамические характеристики контура тока путем подачи на вход регулятора напряжений прямоугольной формы частотой примерно 5 Гц и наблюдения изменения тока нагрузки i_n на экране электронно-лучевого осциллографа. Для получения расчетного переходного процесса форма колебаний устанавливается такой, что полярность напряжения $u_{з,т}$ не изменяется, при $U_{з,т min}$ ток нагрузки $I_n = I_{гр}$, а при $U_{з,т max}$ $I_n = (0,6 \div 0,8) I_{ном}$. При отклонении кривой переходного процесса от расчетной осуществляется корректировка параметров регулятора тока. Ес-

ли для улучшения динамики в режиме прерывистого тока применяется внутренний контур напряжения или тока, то целесообразно увеличить коэффициент усиления контура до появления субгармонических колебаний, а затем уменьшить его на 25—40 %. При контроле переходного процесса при симметричном двухполярном изменении $u_{3,т}$ убеждаются, что процесс реверса тока проходит нормально, а значение бестоковой паузы соответствует расчетному. При этом следует учитывать, что из-за «раздвижки» характеристик выпрямительных групп переходный процесс может отличаться от расчетного.

18. Наладка регулятора скорости. Вначале коэффициент усиления регулятора устанавливают в 2—3 раза меньшим расчетного, конденсатор пропорционально-интегрального регулятора скорости закорачивают, напряжение ограничения устанавливают равным 2—3 В. Настраивают нуль-органы, фиксирующие остановку двигателя и снятие сигналов задания; обычно напряжение срабатывания этих нуль-органов принимают равным 75—100 мВ. Проверяют работу электропривода в замкнутой системе регулирования скорости путем изменения скорости от $+\omega_{max}$ до $-\omega_{max}$, подачи толчков задания скорости $u_{3,с}$, разгона, реверса и торможения при выходе регулятора скорости на токоограничение. Затем устанавливают расчетные параметры регулятора скорости и токоограничения, а также задатчика интенсивности. Проверяют режимы разгона, реверса, торможения от задатчика интенсивности и на токоограничении, если такой режим работы предусмотрен технологией работы механизма, а также надежность стоянки двигателя при нулевом сигнале задания скорости. При разгоне от задатчика интенсивности определяют динамический ток двигателя и сравнивают его с расчетным.

19. Наладка системы управления полем двигателя. Настраивают функциональный преобразователь на выходе датчика тока возбуждения; статическая характеристика преобразователя должна повторять в соответствующем масштабе кривую намагничивания двигателя. Устанавливают расчетные параметры регулятора тока возбуждения, включают напряжение силовой цепи ТПВ и проверяют регулирование тока возбуждения изменением напряжения на входе регулятора. Устанавливают значение минимального тока возбуждения $I_{b,min}$. Выставляют расчетные значения параметров регулятора ЭДС, напряжение ограничения регулятора принимают таким, чтобы получить при насыщении регулятора номинальный ток возбуждения $I_{b,ном}$. Проверяют прохождение сигналов в регуляторе при изменении напряжения, имитирующего сигнал ЭДС. В частности, при $E < E_3$ $i_b = I_{b,ном}$, а при $E > E_3$ $i_b = I_{b,min}$. Затем проверяют работу электропривода в режиме регулирования скорости: снимают зависимость угловой скорости и потока возбуждения от сигнала задания скорости, проверяют разделение режимов изменения потока и ЭДС двигателя, пределы изменения потока и ЭДС, в частности выполнение условия $E \leq E_{ном}$, линейность зависимости скорости от напряжения задания. Наблюдают изменение этих величин в режимах разгона и торможения, проверяют разделение режимов изменения потока и ЭДС, значение перерегулирования по ЭДС, которое не должно превышать 3 %. Проверяют, что при максимальном ослаблении потока возбуждения нуль-орган обрыва поля не отключается.

20. Наладка устройств задания скорости, окончательная проверка и наладка защит.

21. Наладка внешних регуляторов (положения, мощности) и других дополнительных устройств, если таковые имеются.

22. Наладка технологической автоматики, проверка работы электропривода при управлении им с пульта управления.

23. Оформление отчетных документов.

4.3. Эксплуатация тиристорных электроприводов

Работы, проводимые при эксплуатации электроприводов, можно разделить на две группы: работы, связанные с устранением аварии, и работы по текущему обслуживанию. При устранении аварии основная задача эксплуатационного персонала — скорейшее обнаружение неисправного узла, замена или ремонт его (если возможность быстрой замены не предусмотрена конструкцией) и включение электропривода в работу, чем достигается уменьшение времени простоя технологического агрегата. Для облегчения поиска неисправностей электропривод снабжается системой сигнализации и другими устройствами, позволяющими локализовать неисправность. Однако в современных электроприводах, как правило, отсутствует система автодиагностики, поэтому обнаружение неисправного узла возлагается на дежурный персонал, обслуживающий электроустановки, который должен обладать достаточной квалификацией и опытом работы с тиристорными электроприводами. В электромашином помещении должны находиться в достаточном количестве и в виде, удобном для пользования, электрические схемы электропривода и отдельных его узлов, а также необходимое для поиска неисправностей оборудование: электронно-лучевые осциллографы, комбинированные измерительные приборы, мегаомметр, электрощуп, инструмент для съема силовых блоков или отдельных тиристоров (в зависимости от конструкции силовой части), удлинители, обеспечивающие возможность измерения напряжения в различных точках ячеек и субблоков при их подключении к шкафам электропривода. Такие удлинители входят в комплект поставки завода-изготовителя электропривода.

Для быстрой замены обнаруженного неисправного силового блока или ячейки управления необходимо иметь резервные проверенные ячейки и блоки всех типов. При этом нужно иметь в виду, что некоторые типы ячеек управления при применении их в разных узлах системы управления имеют разные параметры, а также могут иметь разные схемы за счет установки различных перемычек внутри ячейки, если таковые предусмотрены ее схемой и конструкцией. Кроме того, однотипные ячейки в одинаковых узлах различных приводов также могут иметь разные схемы и параметры. Поэтому перед установкой в блок управления электропривода схема ячейки и ее параметры должны быть приведены в соответствие с заменяемой. Для облегчения этой процедуры желательно иметь специальную инструкцию, в которой для таких ячеек для каждого электропривода (или группы однотипных электроприводов) должны быть указаны необходимые перемычки и положения регулируемых резисторов, а в необходимых случаях — номинальные параметры сменных резисторов и конденсаторов. Для наиболее ответственных электроприводов, например главных приводов прокатных станов, желательно иметь заранее налаженный 100 %-ный резерв основных ячеек.

Для быстрого обнаружения причины аварии электроприводы снабжаются устройствами запоминания и индикации аварийного сигнала.

Используются элементы памяти: механические (типа «блинкер»), электромагнитные (реле с магнитной памятью), полупроводниковые (триггеры). На выходе последних двух типов элементов включаются светоизлучающие диоды, загорание каждого из которых указывает на определенный тип аварии. Расшифровка этого соответствия приводится в техническом описании электропривода и для удобства пользования помещается в виде таблицы на дверях шкафа управления электроприводом. Ниже приведен список аварийных сигналов электропривода КТЭУ-2500/930 с маслонаполненным трансформатором:

Ящик памяти	Авария
ПМ1.1	Отключен масляный выключатель
ПМ1.2	Нет готовности ТП
ПМ1.3	Аварийное отключение силового автомата
ПМ1.4	Отключен рубильник силовой цепи
ПМ1.5	Отключен источник-220 В
ПМ1.6	Отключено возбуждение тахогенератора
ПМ1.7	Превышение максимальной скорости
ПМ1.8	Перегрузка двигателя (для двухдвигательных приводов)
ПМ1.9	Отключен линейный контактор
ПМ1.10	Переключатель режимов в положении <i>Проверка</i>
ПМ2.1	Недопустимое уменьшение тока возбуждения
ПМ2.2	Напряжение двигателя выше допустимого
ПМ2.3	Превышение времени стоянки двигателя под током
ПМ2.4	Отключены источники питания блочков
ПМ2.5	Неисправность цепи динамического торможения
ПМ2.7	Защита высоковольтного ввода
ПМ2.8	Газовая защита трансформатора
ПМ2.9	Ток возбуждения двигателя выше допустимого
ПМ3.1	Открыта дверь вентильной секции при работе
ПМ3.4	Перегрев подшипников двигателя
ПМ3.5	Температура масла трансформатора выше допустимой
ПМ3.6	Сгорел один предохранитель
ПМ3.7	Отсутствует вентиляция ТП
ПМ3.8	Недопустимый уровень масла трансформатора
ПМ3.9	Снижение изоляции главной цепи
ПМ3.10	Отсутствует вентиляция двигателя

При некоторых авариях срабатывают несколько устройств сигнализации, и важно знать, какая авария была первой. Для этой цели некоторые электроприводы, например, серий КТЭ, ЭКТ снабжаются двухступенчатой сигнализацией, причем первая ступень запоминает первую аварию, а вторая — все остальные. Ответственные технологические агрегаты иногда снабжают централизованной системой обработки аварийных и предупреждающих сигналов. Для выдачи сигналов в эту систему служат малогабаритные реле, замыкание (или размыкание) контактов которых происходит при срабатывании соответствующих элементов памяти. В централизованной системе также предусмотрено выделение первого аварийного сигнала.

Кроме рассмотренных устройств сигнализации для облегчения поиска неисправностей электроприводы снабжают и другими средствами:

светоизлучающими диодами на выходах логических схем отдельных цепей, контактными гнездами для подсоединения приборов или осциллографа на выходах логических и аналоговых узлов, встроенных вольтметрами, электронной моделью двигателя (в электроприводах серии КТЭУ), предусматривают режим *Проверка* и т. п.

Как видно из приведенного перечня аварийных сигналов, в одних случаях сигналы позволяют определить неисправное устройство однозначно (например, ПМ1.1, ПМ1.4, ПМ1.5, ПМ1.6, ПМ1.10, ПМ2.8, ПМ3.1, ПМ3.4, ПМ3.5, ПМ3.8, ПМ3.10), в других случаях появление аварийного сигнала может вызываться несколькими причинами. Рассмотрим характерные неисправности, которые могут вызвать появление этих сигналов.

1. При отсутствии готовности ТП могут быть отключены источники силового, оперативного и опорного напряжений, может отсутствовать вентиляция ТП, могут иметься сгоревшие предохранители в вентиляющей части или может сработать ячейка дифференциальной индикации аварии (ДИА). Конкретную причину аварии устанавливают осмотром таблиц, размещенных на дверях шкафов электропривода, и светоизлучающего диода на ячейке ДИА.

Аварийное отключение сигналом с ячейки ДИА может иметь место при неисправностях в ТП или в регуляторе тока. Исправность регулятора тока проверяют наблюдением за прохождением сигналов в нем либо замыканием его через встроенную в систему управления модель двигателя. В ТП проверяют форму и смещение отпирающих импульсов при изменении u_y , а также правильность работы узла реверса, наличие бестоковой паузы и работу датчика нулевого тока. Необходимо проверить исправность силовых тиристоров.

2. Сигнал аварийного отключения силового автоматического выключателя цепи нагрузки формируется по логической схеме: выключатель отключен, а переключатель, управляющий им, находится в положении *Включено*. Отключение выключателя происходит под действием аварийных сигналов и сопровождается загоранием соответствующих светоизлучающих диодов. Если ни один из светоизлучающих диодов, кроме ПМ1.3, не горит, это означает, что отключение произошло под действием максимального (или теплового) расцепителя выключателя. Тепловой расцепитель может отключить электропривод при длительной работе с током, превышающим номинальный. При отключении под действием максимального расцепителя без срабатывания ячейки ДИА необходимо проверить исправность последней, и если она исправна, то произвести повторно калибровку уставок ДИА и максимального расцепителя, например реле РДШ выключателей типа ВАР-42.

3. Превышение максимальной скорости, как правило, происходит при неисправностях в цепи возбуждения. В этом случае причина неисправности обнаруживается по сигнализации ПМ2.1 и по проверке за прохождением сигналов в регуляторе тока возбуждения. В некоторых случаях сигнал превышения скорости может появиться при работе с минимальным током возбуждения и неисправности в регуляторах скорости или тока, что обнаруживается путем наблюдения за прохождением сигналов в этих регуляторах.

4. Аварийный сигнал «Перегрузка двигателя» используется только в двухдвигательных электроприводах, у которых в цепи якоря каждого двигателя установлено максимальное реле. Уставка этих реле выбирает-

ся несколько выше, чем половина отключающего выключатель тока нагрузки. Поэтому отключение этих реле (или одного из них) без срабатывания ячейки ДИА указывает на неисправность либо регулятора возбуждения одного из двигателей, либо узла выравнивания нагрузки.

5. Сигнал «Отключение линейного контактора» формируется в том случае, если этот контактор отключился при наличии напряжения на якоре двигателя (такое отключение запрещено логикой управления, так как конструктивно контактор размещен таким образом, что отключающая способность контактора ограничена). Обычно отключение контактора происходит либо из-за потери контакта в цепи его катушки, что определяется «прозвонкой», либо при отключении промежуточного реле РКЛ, возникшего из-за неисправности ячейки усиления УЛ, либо при потере контакта в цепи катушки РКЛ.

6. Недопустимое уменьшение тока возбуждения может иметь место при неисправности регулятора тока возбуждения или возбудителя ТПВ, а также при неточной настройке нуль-органа, фиксирующего «обрыв поля». В последнем случае настройка нуль-органа изменяется таким образом, чтобы при минимальном токе возбуждения, имеющем место при отключении выключателя нагрузки, сигнал «обрыв поля» не формировался. Исправность регулятора тока возбуждения проверяется наблюдением за прохождением сигналов в регуляторе, а исправность ТПВ — наблюдением за формой и смещением отпирающих импульсов и за формой тока и напряжения на нагрузке.

7. Нуль-орган, фиксирующий превышение допустимого напряжения двигателя, обычно настраивается таким образом, что он не срабатывает при $E = E_{a0} \cos(\alpha_{min})$, поэтому появление аварийного сигнала обычно указывает на неисправность цепи регулирования возбуждения. О проверке этой цепи уже говорилось выше.

8. Появление аварийного сигнала ПМ2.3 в зависимости от схемы подключения ячейки защиты ЗСТ имеет место либо при длительной (длительностью 1—20 с, выбирается при наладке электропривода) стоянке двигателя при наличии задания скорости, либо при длительной перегрузке двигателя током, значение которого также устанавливается при наладке. Появление аварийного сигнала вызывается при исправной ячейке ЗСТ неправильными действиями операторов, управляющих технологическим агрегатом.

9. При отключении источников питания блоков по светонизлучающим диодам, установленным на лицевых панелях источников, следует определить вышедший из строя и заменить его.

10. Контроль исправности цепи динамического торможения используется при применении тиристоров для замыкания этой цепи. Аварийный сигнал формируется в том случае, если при отсутствии сигнала на динамическое торможение появился ток в цепи торможения. Причиной появления аварийного сигнала могут быть неисправность нуль-органа, фиксирующего протекание тока в цепи динамического торможения, либо пробой тиристора динамического торможения, либо неисправность ячейки, формирующей отпирающий импульс, которую в случае исправности нуль-органа и тиристора следует заменить.

11. Появление аварийного сигнала «Ток возбуждения двигателя выше допустимого» обычно связано с неисправностью регулятора тока возбуждения или отказом датчика тока возбуждения. Если эти элементы исправны, то необходимо проверить ТПВ.

12. Тиристорный преобразователь с номинальным током 2500 А и выше, а в некоторых сериях и при меньших токах допускает длительную работу без одного предохранителя в вентильной части ТП. Однако во избежание развития аварии неисправный предохранитель необходимо как можно быстрее заменить. При появлении предупреждающего сигнала *ПМЗ.6* при первой же остановке электропривода, например при технологическом простое или при окончании смены, необходимо снять напряжение силовой цепи, заменить тиристорный блок с предохранителем или отдельно предохранитель при неразъемной конструкции вентильной части. Если защищаемый предохранителем тиристор не заменяется, то необходимо проверить его исправность.

13. При появлении предупреждающего сигнала «Отсутствует вентиляция ТП» следует иметь в виду, что через 3—5 мин электропривод будет аварийно отключен. Поэтому дежурный персонал должен немедленно сообщить операторам, обслуживающим технологический агрегат, о необходимости остановки последнего, затем устранить причину аварии. Вначале проверяется фактическое наличие вентиляции, и если она имеется, то производится ревизия или замена реле контроля скорости воздуха (РСВ). Если вентиляция отсутствует, то необходимо проверить наличие напряжения на двигателе вентилятора. Если напряжение имеется, то следует заменить вентилятор с двигателем.

14. При снижении уровня изоляции главной цепи необходимо при остановке технологического агрегата с помощью мегаомметра, отключая последовательно участки главной цепи, определить тот участок, на котором произошло снижение изоляции, и устранить неисправность.

Следует учитывать, что далеко не все неисправности приводят к появлению аварийных и предупреждающих сигналов. Фактически при правильной наладке регуляторов тока якоря и тока возбуждения при их исправности, а также при исправности ТП и ТПВ неисправности в системах управления и регулирования не приводят к срабатыванию сигнализации. Наиболее характерные неисправности, методы их обнаружения и устранения следующие.

1. При отсутствии аварийной или предупреждающей сигнализации не собирается схема включения автоматического выключателя на стороне постоянного тока (отключено реле *РН*). Сборка схемы осуществляется при нулевом напряжении ТП, когда командоаппарат, задающий скорость, находится в нулевом положении, поэтому для отыскания неисправности с помощью осциллографа вначале проверяется исходное состояние нуль-органов, фиксирующих отсутствие напряжений на якоре двигателя и сигнала задания скорости. При их исправности, если командоаппарат находится в нулевом положении, проверяют состояние внешних блокировок по сигналам на соответствующих выходах ячеек ввода сигналов ВЛ. Если на всех выходах присутствуют сигналы, разрешающие сборку, то причиной неисправности могут быть неисправность отдельных микросхем или потеря контакта в разъеме. Необходимо заменить ячейку УР или отыскать неисправную цепь.

2. Во время работы при установке командоаппарата в нулевое положение двигатель продолжает вращаться с малой скоростью, при этом отсутствует срыв импульсов в ТП. Необходимо при отключенном электроприводе установить нули в датчике скорости, потенциальных разделителях и устройствах задания скорости, отрегулировать чувствительность нуль-органов, фиксирующих стоянку двигателя.

3. Во время работы электропривода скорость электродвигателя не соответствует заданной. Необходимо проверить уровень напряжения задания скорости на входе ячейки регулятора скорости.

Если это напряжение не соответствует заданному, то в зависимости от режима задания скорости необходимо заменить одну из неисправных ячеек (СЗ, СЛЗ, ПР). Если напряжение задания скорости соответствует требуемому, то проверяют напряжение обратной связи, которое должно соответствовать скорости электродвигателя. Причинами возможного несоответствия могут являться неисправность датчика напряжения тахогенератора или потеря контакта в разъеме. Если же эти узлы исправны, то необходимо проверить прохождение сигналов в ячейках регулирования скорости, тока, ЭДС, тока возбуждения. При отсутствии дефектов в ячейках системы управления необходимо проверить ТП.

Для обеспечения надежной и высококачественной работы электропривода и предотвращения отказов необходима профилактическая проверка отдельных узлов и электропривода в целом. Целесообразно иметь графики планово-предупредительных ремонтов электроприводов данного технологического агрегата, согласованные по срокам с графиками планово-предупредительных ремонтов основного технологического оборудования. Если в процессе работы в каком-нибудь из тиристорных электроприводов обнаружится частое срабатывание системы защит, то такой электропривод должен подвергнуться профилактике в первую очередь.

Рекомендуется 1 раз в две недели во всех электроприводах проверять форму и значение напряжений источников питания, установку нулей датчиков тока и напряжения, усилителей, потенциальных разделителей. Если в системе управления имеется встроенная модель двигателя, то в режиме «контроль» проверяют работу регуляторов тока и скорости, а также исправность светоизлучающих диодов сигнализации в режиме «опробование». Один раз в три месяца рекомендуется проводить проверку уставок срабатывания защит электропривода и других нуль-органов, уставку узлов токоограничения, работу узлов задания скорости, работу узла переключения выпрямительных групп и датчик нулевого тока. Один раз в три—шесть месяцев или после длительной остановки проверяют техническое состояние электропривода, при этом проверяют качество затяжки болтовых соединений и контактного крепежа на клеммнике, аппараты и детали очищают от пыли, очищают от пыли и грязи контакты разъемов блоков и ячеек управления, а также силовых блоков, осматривают, очищают от пыли и смазывают двигатель вентилятора. Проверяют работу контура тока с невозбужденным двигателем в режимах реверса тока, а также контура скорости при наличии возбуждения двигателя. Проверяют техническое состояние коммутационной аппаратуры в соответствии с инструкциями по ее эксплуатации. Измеряют сопротивление изоляции силовых цепей и цепей управления, которое не должно быть меньше 5 МОм в холодном состоянии.

БАЗОВЫЕ КОНСТРУКТИВЫ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДУЛИ И КОМПЛЕКТУЮЩАЯ АППАРАТУРА

Раздел 5

КОНСТРУКТИВЫ И МОДУЛИ ВЕНТИЛЬНОЙ ЧАСТИ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

5.1. Системы охлаждения и конструктивы вентильной части

Существуют три разновидности охлаждения вентильной части тиристорных электроприводов: естественное (конвективное), принудительное — воздушное, водяное. *Естественное* охлаждение является наиболее простым и надежным в эксплуатации, однако низкая эффективность [коэффициент теплопередачи $8\text{--}15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$] обуславливает его применение для электроприводов небольшой и средней мощности. *Принудительное воздушное* охлаждение в настоящее время наиболее распространено [коэффициент теплоотдачи $60\text{--}80 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]. Оно применяется при охлаждении вентильной части электроприводов с номинальными токами до 12 500 А. Для электроприводов с тем же диапазоном токов применяется и *водяное* охлаждение [коэффициент теплоотдачи воды $200\text{--}3000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]. Применительно к каждому виду охлаждения разработаны конструкции, оптимальные для конкретной компоновки вентильной части.

С естественным воздушным охлаждением изготавливают электроприводы серии КТЭУ на токи до 200 А, серии ЭКТ на токи до 320 А, серии КТЭ на токи до 1600 А, серий ЭТУ3601, ЭТРП, ЭТЗ, ЭТ6, ЭПУ1, ЭПУ2, а также преобразовательные агрегаты серий ТЕ, ТЕР на токи до 1250 А.

С принудительным воздушным охлаждением изготавливают электроприводы серии КТЭУ на токи 320 А и выше, серии ЭКТ на токи 500 А и выше, выпрямители серии ТПП1 на токи 1600 А и выше, с водяным охлаждением — агрегаты ТВ, ТВР на токи 1600 А и выше.

В электроприводах на токи до 500 А серии КТЭУ модульным элементом конструкции является моноблок СВУ на базе тиристора Т-250. В электроприводах серии КТЭ на токи 50—1600 А базовыми элементами конструкции являются функционально законченный трехфазный мост в панельном исполнении с силовыми выводами, разъемами управляющих цепей и мнемосхемой с контрольными гнездами, установленный в конструктиве БУК-6 (на токи 50—200 А), и секция охладителей, которая комплектуется групповыми и одиночными охладителями (на токи 320—1600 А). Размеры группового охладителя $640 \times 360 \times 95$ мм. Функционально групповой охладитель используется как элемент, несущий основные механические нагрузки, токопровод катодной и анодной групп, сочлененных токоотводящей ошиновкой выпрямленного тока, теплоотвод для тиристоров.

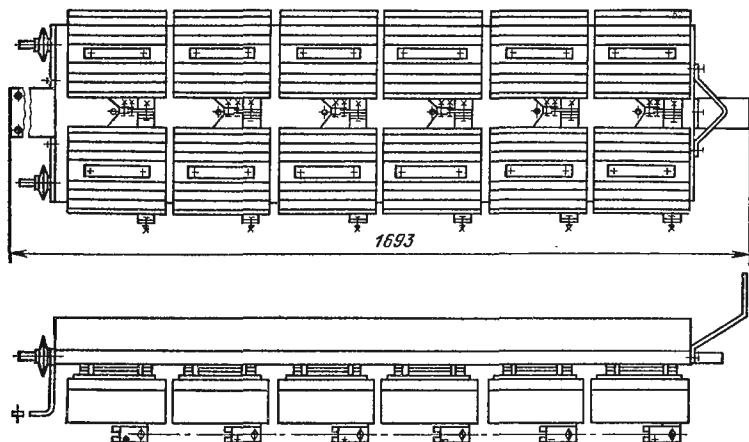


Рис. 5.1. Реверсивная секция охладителей тиристорных электроприводов серии КТЭ на ток 800 и 1000 А

Теплоотводами для тиристорov со стороны переменного тока служат одиночные охладители с размерами $200 \times 177 \times 95$ мм.

На рис. 5.1 приведена реверсивная секция охладителей на токи 800 и 1000 А. Нереверсивная секция состоит из половинного количества охладителей и конструктивно подобна реверсивной.

В тиристорных агрегатах ТЕ-2, ТЕ-3, ТЕР-2, ТЕР-3 базовыми являются два элемента конструкции — блок из шести тиристорov, соединенных в трехфазный мост (на ток 100 А), и комплект из шести блоков (на ток 200—1000 А), каждый из которых представляет анодную или катодную группу фазы и содержит различное число параллельно включенных тиристорov (в зависимости от выпрямленного тока ТП). Распределение тока по параллельно включенным тиристорам осуществляется с помощью индуктивных делителей тока, включенных в плечо моста. Каждый блок связан с системой управления штепсельным разъемом. Охладители тиристорov — игольчатые.

В системах принудительного воздушного охлаждения тиристорov различают две схемы расположения вентиляторов:

1) вентилятор вынесен из тиристорного шкафа (вентильной секции), является общим для нескольких шкафов (секций), расположен в отдельном помещении. Система охлаждения — замкнутая, через воздуховоды;

2) индивидуальный вентилятор установлен в тиристорном шкафу (вентильной секции), система охлаждения — разомкнутая, забор воздуха — из окружающей среды.

В электроприводах с принудительным воздушным охлаждением применяется вытяжная система вентиляции, при которой охлаждение производится воздухом, движущимся снизу вверх. В случае разомкнутой системы охлаждения вентилятор установлен сверху вентиляющей

шкафа. Для контроля скорости охлаждающего воздушного потока в шахте применяется реле скорости воздуха РСВ-2, в котором измерительным органом является крыло.

Базовым вентиляльным элементом конструкции, определяющим построение системы принудительного воздушного охлаждения в электроприводах серии КТЭУ на токи 800 А и выше, является выемной блок охлаждения (БВО) с силовыми губчатыми разъемами, представляющий собой конструктивно и схемно законченный узел с высокой степенью заводской готовности и ремонтпригодности (рис. 5.2).

Моноблок комплектуется тиристорами Т-630, или Т-800, или Т-1000. Передняя и задняя стенки, выполненные из высокопрочного пресс-материала, являются несущими. На передней стенке предусмотрены контрольные гнезда для проведения измерений при наладке и эксплуатации без извлечения блока из шкафа (вентильной секции). В зоне задней стенки рядом с силовыми разъемами расположены ловители, которые служат для центрирования блока при его установке в шкаф (секцию) и локализации дуги, могущей возникнуть в ионизированном пространстве.

Между передней и задней стенками установлены предохранитель типа ПП-57 и делитель с разомкнутым сердечником, располагающиеся при установке блока в шкаф (секцию) в зоне охлаждающего воздуха.

В моноблоках, комплектующих электроприводы на токи 800 и 1000 А, предохранители не устанавливаются.

В специальном отсеке, легко доступном при наладке, находится ячейка управления, защиты и сигнализации блока. Силовые провода и провода цепей вторичной коммутации блока конструктивно расчленены, что сводит к минимуму уровень паразитных генераций в информационных каналах. Блок снабжен съемной ручкой для его извлечения из шкафа.

Базовым вентиляльным элементом конструкции, определяющим построение системы принудительного охлаждения тиристорных выпрямителей типа ТПП-1, является групповой охладитель, выполняющий функций несущего конструктивного элемента в силовой цепи.

Каждый тиристорный блок устанавливается в шкафу на два болта и крепится посредством двух траверс.

Каждое плечо тиристорного моста отделено от двери вращающейся изоляционной лицевой панелью, на которой расположены жгуты для подключения силовых блоков.

Блок силовой включает в себя тиристор, два параллельно соединен-

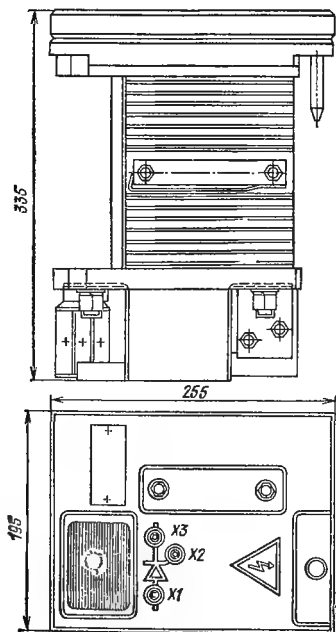


Рис. 5.2. Блок БВО

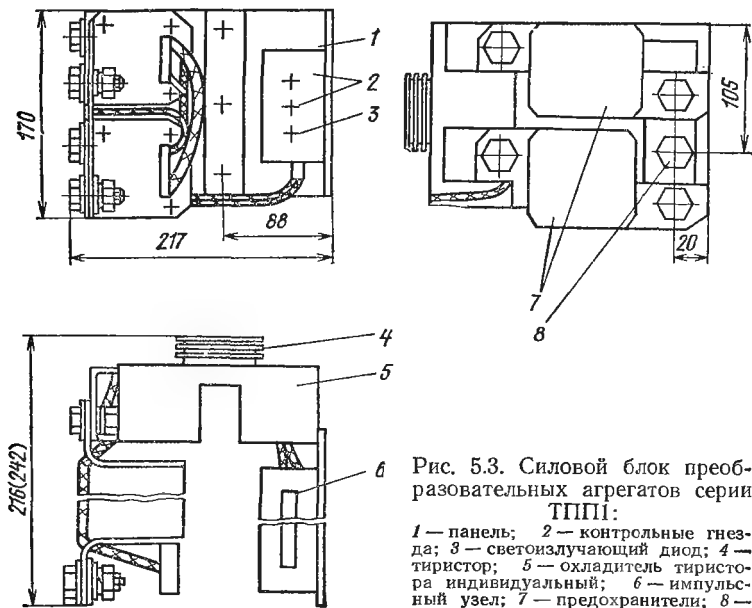


Рис. 5.3. Силовой блок преобразовательных агрегатов серии ТПП1:

1 — панель; 2 — контрольные гнезда; 3 — светоизлучающий диод; 4 — тиристор; 5 — охладитель тиристора индивидуальный; 6 — импульсный узел; 7 — предохранители; 8 — место присоединения шин

ных предохранителя с указателями срабатывания и контактами вспомогательной цепи, а также блок импульсного устройства, на лицевой стороне которого расположены светоизлучающие диоды и контрольные гнезда для определения наличия и измерения параметров импульсов управления.

Предохранители и блок импульсных устройств расположены с фасадной стороны шкафа.

Электрическая связь цепей вторичной коммутации с элементами шкафа управления осуществляется с помощью разъема.

Силовой блок представлен на рис. 5.3.

В тиристорных агрегатах ТВ-3, ТВ-4, ТВР-3, ТВР-4 с водяным охлаждением базовым элементом конструкции является групповой охладитель, представляющий собой медную шину с каналами для протока охлаждающей воды. Контакт тиристора с шиной осуществляется с помощью массивного радиатора, к которому прикреплен тиристор, пружинный траверс и стяжек, ввернутых в шину. Для охлаждения предохранителей (типа ПП157, 500 А, по две штуки параллельно в каждой ветви) служат отдельные радиаторы.

Унифицированным модулем вентиляльной части на базе группового охладителя является вентиляная (реверсивная или нереверсивная) секция, в которой размещены четыре групповых охладителя тиристоров, шесть групповых охладителей предохранителей, составляющие общую систему охлаждения с охладителями тиристоров, RC-цепи, импульсные

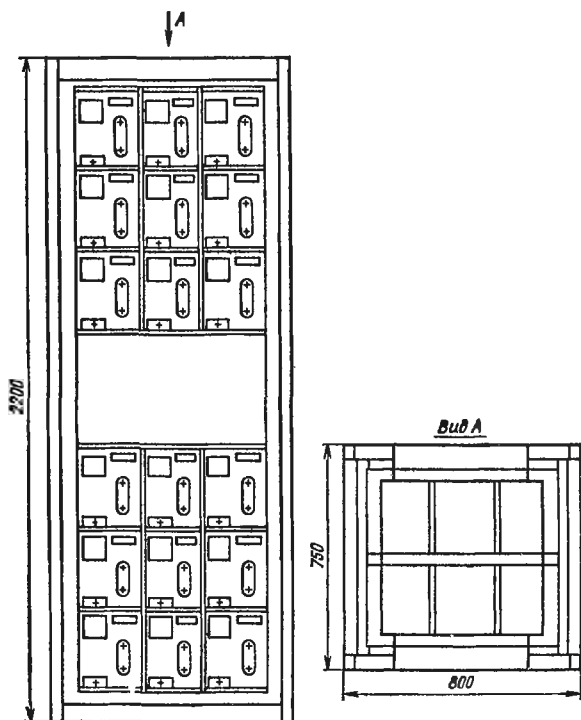


Рис. 5.4. Тиристорный шкаф на основе блоков БВО

трансформаторы, трансформаторы тока, датчики температуры, силовая ошиновка, индуктивные делители тока, выполненные по схеме двойной замкнутой цепочки, при которой каждая параллельная ветвь связана взаимноиндуктивной связью с двумя ветвями с каждой стороны.

Унифицированным модулем вентиляной части на базе блока БВО является тиристорный шкаф (рис. 5.4). В зависимости от номинального тока электропривода тиристорный шкаф комплектуется разным количеством блоков, всегда кратным шести (24, 30 или 36 блоков). Базовым компоновочным элементом конструкции шкафа является блок-кассета, в которой установлено четыре—шесть блоков. Блок-кассета представляет собой конструктивно и схемно законченный узел и является фазой выпрямительного моста с одним выводом переменного и двумя выводами постоянного тока.

По глубине шкаф расчленен на три обдуваемых отсека — центральный, в котором расположены сборная силовая ошиновка и предохранители, и два периферийных, в которых находятся тиристоры и делители.

Уровень генерации паразитных помех в цепях вторичной коммутации при этом сведен к минимуму. Отсек сборной ошиновки в целях локализации дуги, которая может возникнуть, отделен от тиристорных цепей глухим изоляционным экраном.

При такой компоновке возможны такие конструктивные решения шкафов: одношкафный мост максимум с шестью параллельно включенными тиристорами в каждом плече; двухшкафный мост максимум с двенадцатью параллельно включенными тиристорами в каждом плече; трехшкафный модуль, где каждый шкаф — фаза моста; реверсивный модуль с расположением мостов «вперед» и «назад», сверху и снизу шкафа (шкафов).

Вентильная секция, комплектующая электроприводы, представляет собой функциональный модуль, состоящий из тиристорных шкафов и шкафа ввода — отсека с выводами силовой ошиновки, которые выходят из секции в одном из следующих направлений: постоянный и переменный ток вверх, постоянный и переменный ток вниз; постоянный ток вверх, переменный вниз, постоянный ток вниз, переменный вверх.

Независимо от вида принудительного воздушного охлаждения конструкция секции унифицирована.

Каждый полюс выводов постоянного тока выполнен шинами сечением 10×80 по две в параллель ($I_{\text{ном}} = 1600$ и 2500 А) и двумя пакетами шин (по две шины в пакете) в две параллели ($I_{\text{ном}} = 4000$, 5000 и 6300 А). Ввод переменного тока выполняется шинами сечением 10×60 в две параллели для $I_{\text{ном}} = 1600$ и 2500 А, двумя пакетами по две шины в пакете для $I_{\text{ном}} = 4000$ и 5000 А, двумя пакетами по три шины в пакете для $I_{\text{ном}} = 6300$ А.

В шкафу ввода расположен также блок защиты от перенапряжений, место установки которого зависит от направления выводов постоянного тока.

Силовая ошиновка вентильной секции проходит через расположенные по центру тиристорных шкафов специальные отсеки и находится в зоне принудительного охлаждения.

Существует четыре типоразмера вентильных секций:

1) секция типа СВ-9100, состоящая из шкафа ввода и тиристорного шкафа с 24—36 блоками БВО. В ней собрана трехфазная мостовая схема выпрямления. Каждое плечо моста может иметь в зависимости от номинального тока КТЭУ от четырех до шести параллельно соединенных тиристорov;

2) секция типа СВ-9200, состоящая из шкафа ввода и тиристорного шкафа с 60—72 блоками БВО. В ней также собрана трехфазная мостовая схема выпрямления. Каждое плечо моста может иметь 10 или 12 параллельно соединенных тиристорov;

3) секция типа СВ-9300, состоящая из шкафа ввода и тиристорного шкафа с 48—72 блоками БВО. В ней собрана трехфазная реверсивная встречно-параллельная схема. Каждое плечо схемы может иметь от 4 до 6 параллельно соединенных тиристорov;

4) секция типа СВ-9400, состоящая из шкафа ввода и двух тиристорных шкафов, каждый из которых имеет от 60 до 72 блоков БВО. В секции собраны две трехфазные мостовые схемы, которые используются для реверсивной встречно-параллельной схемы. Каждое плечо реверсивной схемы может иметь 10 или 12 параллельно соединенных тиристорov.

Таблица 5.1

Номинальный ток КТЭУ, А	6-пульсная схема выпрямления			
	нереверсивная		реверсивная	
	Тип секции*	Число блоков БВО	Тип секции*	Число блоков БВО
1600	СВ-9100	24	СВ-9300	48
2500	СВ-9100	30	СВ-9300	60
4000	СВ-9100	36	СВ-9300	72
5000	СВ-9200	60	СВ-9400	120
6300	СВ-9200	72	СВ-9400	144

* Используется одна секция.

Типы и количество вентильных секций, используемых для ТП серии КТЭУ мощностью от 2000 до 12 000 кВт с 6-пульсной схемой выпрямления, приведены в табл. 5.1, для КТЭУ с 12-пульсной схемой выпрямления — в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Номинальный ток КТЭУ, А	12-пульсная схема выпрямления			
	нереверсивная		реверсивная	
	Тип секции*	Число блоков БВО	Тип секции*	Число блоков БВО
5000	СВ-9100	30×2	СВ-9300	60×2
6300	СВ-9100	36×2	СВ-9300	72×2
8000	СВ-9100	36×2	СВ-9300	72×2
10 000	СВ-9200	60×2	СВ-9400	120×2
12 500	СВ-9200	72×2	СВ-9400	144×2

* Используются две секции.

5.2. Модули систем управления

Модули с бесконтактной аппаратурой управления и регулирования выполнены на базе унифицированных в масштабе отрасли компоновочных систем конструкций (кассеты БУК-6, поворотные рамы, в которых они установлены, шкафы металлоконструкций одно- или двустороннего обслуживания).

Блочная унифицированная конструкция БУК-6, как неотъемлемая часть комплектного устройства управления высокой сложности, обеспечивает конструктивную входимость всех элементов по уровню иерархической структуры. Конструкция структурно состоит из ячеек (вдвиж-

ных плат), субблоков и кассет. Все элементы по уровню имеют иерархическую подчиненность и подразделяются на конструкции нулевого, первого, второго и третьего порядков.

К конструкциям нулевого порядка относятся печатные (монтажные) платы — несущие конструкции для установки и монтажа электро- и радиоэлементов. По высоте печатные платы имеют размеры 100 и 233,4 мм, по глубине 160 мм.

Конструкции печатных плат характеризуются структурными, геометрическими и электрическими параметрами.

К структурным параметрам относятся общее число слоев и их конструкция (односторонние или двусторонние). Структуру конструкции печатной платы образуют следующие элементы конструкции: соединительные проводники и зазоры между ними; контактные площадки и зазоры между ними и соединительными проводниками; технологические, монтажные, крепежные и металлизированные отверстия; установочные места под полупроводниковые приборы, резисторы, конденсаторы, электрические соединители, экраны, вырезы в экранах.

К геометрическим параметрам относятся ширина печатных проводников на сигнальных слоях и зазоров между проводниками, диаметры металлизированного отверстия и зенковки, ширина зазора между металлизированными отверстиями и между отверстиями и проводниками, расстояние между сигнальными и потенциальными слоями, в частности между слоями питания и земли, шаг сетки и ширина проводников на потенциальных слоях, толщина печатной платы заданной структуры и ее отклонение от номинала.

К электрическим параметрам относятся сопротивление и емкость (или волновое сопротивление) 1 м печатных проводников на сигнальных слоях, коэффициент связи между печатными проводниками, определяемый уровнем взаимных помех.

К конструкциям первого порядка относятся платы монтажные подвижные (ячейки) — несущие конструкции для установки монтажных плат, микросхем, электро- и радиоэлементов.

На лицевой панели ячейки может быть установлена аппаратура измерительная, управления, сигнализации, контроля. Размеры лицевых панелей — от 15 до 45 мм. На рис. 5.5 приведена одна из разновидностей ячеек (разъемы не показаны).

Для связи с остальными элементами схемы на ячейке установлены штепсельные разъемы.

К конструкциям второго порядка относятся блочные вставные картасы (субблоки) — несущие объемные конструкции для установки, монтажа и присоединения к внешним цепям конструктивов на монтажных подвижных платах, электро- и радиоэлементов. Существует четыре модификации субблоков: для встраивания подвижных плат, для установки и объемного монтажа электро- и радиоэлементов (два исполнения), для одновременного встраивания подвижных плат, электро- и радиоэлементов (комбинированный вариант).

Размеры субблоков — 70, 105, 140, 210, 280 мм.

К конструкциям третьего порядка относятся встраиваемые каркасы — несущие объемные конструкции для установки и монтажа монтажных подвижных плат и субблоков. По высоте каркасы имеют два размера: 132,5 и 265,9 мм, ширине их 482,6 мм.

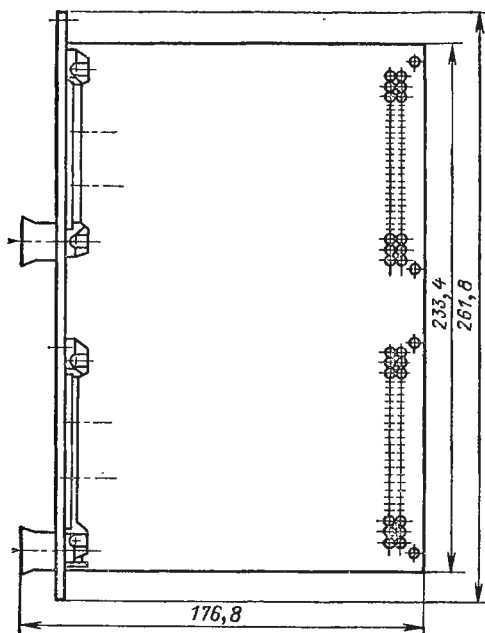


Рис. 5.5. Общий вид ячейки управления

Структура БУК-6 обеспечивает полную входимость конструкции более низкого порядка в конструкцию более высокого порядка.

Конструкция блоков с большим размером по высоте предусматривает установку ячеек управления либо высотой 233,4 мм, либо двух рядов ячеек высотой 100 мм. Имеются комбинированные исполнения для установки ячеек с обоими размерами по высоте в один блок.

Соединения между ячейками внутри блока осуществляются проводами методом пайки, накрутки или объединяющей печатной платой, соединения элементов блока с элементами остальной схемы — через штепсельные разъемы, установленные в правой (если смотреть спереди) части блока; левая часть блока также может быть использована для связи между блоками в пределах одной поворотной рамы, а также для размещения некоторых дополнительных элементов схемы (резисторов, конденсаторов). В электроприводах серии ЭКТ разъемы размещены слева.

Блоки управления размещаются в шкафах с одно- или двусторонним обслуживанием на поворотных рамах. В шкафу глубиной 600 мм установлена одна рама, в шкафу глубиной 800 мм — две рамы (при двустороннем обслуживании).

Поворотные рамы, в которых установлены кассеты БУК-6, расположены в вертикальных плоскостях внутри шкафа с одной или обеих

сторон обслуживания. Рама открывается на 120° обычно против часовой стрелки. Ось поворота рамы справа. В серии ЭКТ поворотная рама установлена слева и поворачивается по часовой стрелке. При открытой раме внутренняя полость шкафа, находящаяся между рамой и задней стенкой шкафа (или между двумя поворотными рамами) с установленной аппаратурой, свободна для обслуживания при эксплуатации. В рабочем положении рамы заперты с помощью верхней и нижней стопорных осей.

Раздел 6

КОМПЛЕКТУЮЩАЯ АППАРАТУРА СИЛОВОЙ ЧАСТИ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

6.1. Электрические машины и датчики

В комплектных тиристорных электроприводах серий КТЭУ, КТЭ при работе с комплектными преобразовательными агрегатами могут применяться электродвигатели постоянного тока практически любых типов при условии согласованности их номинальных токов и напряжений, а также перегрузочной способности с техническими данными преобразовательной части, как об этом говорилось в разд. 1. Дополнительно нужно обращать внимание на следующие обстоятельства:

1) электродвигатели разных серий имеют различные допустимые пульсации тока якоря, вызываемые переменной составляющей выпрямленного напряжения ТП. Если пульсации при нагрузке на якорь электродвигателя превосходят допустимые, то необходима установка сглаживающего реактора нужной индуктивности последовательно с якорем. Для обеспечения пульсации амплитудой δ при номинальной скорости и 6-пульсном выпрямлении суммарную индуктивность цепи нагрузки, мГн, можно определить по приближенному соотношению:

$$L = \frac{12}{\delta} \frac{U_{\text{ном}}}{I_{\text{ном}}};$$

2) амплитуда напряжения на нагрузке равна $1,41U_2$, где U_2 — эффективное значение питающего ТП силового напряжения. Изоляция якоря двигателя должна быть рассчитана на это напряжение;

3) при питании обмотки возбуждения двигателя от трехфазного тиристорного возбудителя амплитуда напряжения на обмотке достигает 550 В. Изоляция обмотки возбуждения должна быть рассчитана на это напряжение.

Приведем некоторые данные по наиболее распространенным сериям двигателей постоянного тока.

1. Двигатели постоянного тока серии П2П 12—17-го габаритов выпускаются на напряжения 440, 600, 750 В. Возможные сочетания номинальной мощности $P_{\text{ном}}$, номинальной частоты вращения $n_{\text{ном}}$ и номинального напряжения $U_{\text{ном}}$ приведены в табл. 6.1.

Электродвигатели серии П2П при номинальной частоте вращения в течение 15 с допускают рабочую перегрузку $2,75I_{\text{ном}}$, при максимальной частоте вращения — $(1,8-2)I_{\text{ном}}$. Электродвигатели длительно

на $2,5 I_{\text{ном}}$, в течение 15 с при максимальной частоте вращения она равна $1,8 I_{\text{ном}}$.

3. Электродвигатели постоянного тока серии П2 11-го габарита выпускается со следующими сочетаниями $P_{\text{ном}}$ и $n_{\text{ном}}/n_{\text{тах}}$: $P_{\text{ном}} = 110$ кВт, $n_{\text{ном}}/n_{\text{тах}} = 800/1800, 630/1800, 500/1650, 400/1500$ об/мин; $P_{\text{ном}} = 160$ кВт, $n_{\text{ном}}/n_{\text{тах}} = 1000/1800, 800/1800, 630/1650, 500/1500$ об/мин; $P_{\text{ном}} = 200$ кВт, $n_{\text{ном}}/n_{\text{тах}} = 1250/1800, 1000/1800, 800/1650, 630/1500$ об/мин. Двигатели имеют номинальное напряжение 440 В, при работе от ТП амплитуда переменной составляющей тока якоря не должна превышать 7 %.

4. Электродвигатели постоянного тока неререверсивные серии П2 20—24-го габаритов выпускаются со следующими сочетаниями $P_{\text{ном}}$ и $n_{\text{ном}}/n_{\text{тах}}$: 1600 кВт, 250/500, 160/500 об/мин; 2500 кВт, 160/315, 125/315 об/мин; 3150 кВт, 400/600 об/мин; 4000 кВт, 160/320, 100/260 об/мин; 5000 кВт, 400/500 об/мин. Напряжение якоря двигателя 930 В, допустимые рабочие перегрузки $2 I_{\text{ном}}$ при $n_{\text{ном}}$, $1,8 I_{\text{ном}}$ при $n_{\text{тах}}$. Допустимая скорость нарастания тока якоря $100 I_{\text{ном}}/\text{с}$. Двигатели допускают длительно перегрузку по току $1,15 I_{\text{ном}}$ и в течение 2 ч — $1,25 I_{\text{ном}}$. Напряжение возбуждения 110/220 В. Двигатели допускают вращение в направлении, противоположном основному, на небольшой скорости (не более 20 % $n_{\text{ном}}$).

5. Электродвигатели постоянного тока реверсивные серии П2 21—25-го габаритов выпускаются со следующими сочетаниями $P_{\text{ном}}$ и $n_{\text{ном}}/n_{\text{тах}}$: 3150 кВт, 90/150, 71/125, 56/100 об/мин; 4000 кВт, 50/100, 40/80 об/мин; 4500 кВт, 45/90, 36/71, 40/80, 32/63 об/мин; 5000 кВт, 90/125, 63/100 об/мин; 5600 кВт, 36/71 об/мин; 7100 кВт, 125/150, 90/125 об/мин; 8000 кВт, 100/125, 80/125 об/мин; 9000 кВт, 90/100, 71/100 об/мин; 10 000 кВт, 80/90, 63/90 об/мин; 12 500 кВт, 71/90 об/мин. Напряжение якоря 930 В, напряжение возбуждения 110/220 В. Допустимые рабочие перегрузки в течение 15 с при $n_{\text{ном}}$ $2,25 I_{\text{ном}}$, при $n_{\text{тах}}$ $1,8 I_{\text{ном}}$. Допустимая скорость нарастания тока $100 I_{\text{ном}}/\text{с}$.

6. Электродвигатели типов П2-21/90-4, 4000 кВт, 750 В, 100/250 об/мин, П2-23/106-7,1, 7100 кВт, 930 В, 80/125 об/мин, П2-25/130-9, 9000 кВт, 930 В, 63/120 об/мин при номинальной частоте вращения обеспечивает рабочую перегрузку до $2,5 I_{\text{ном}}$. Амплитуда переменной составляющей тока якоря не должна превышать 4 % при номинальном напряжении. Допустимая скорость нарастания тока якоря до $50 I_{\text{ном}}/\text{с}$.

7. Электрические машины серии 2П выполняются на напряжения 110, 220, 340, 440 В при мощности 0,37—200 кВт, номинальная частота вращения от 500 до 3000 об/мин. Допустимые перегрузки $2 I_{\text{ном}}$ в течение 60 с, $3 I_{\text{ном}}$ в течение 10 с.

8. Краново-металлургические двигатели серии Д мощностью 2,5—185 кВт характеризуются высокой кратностью вращающего момента, выполняются на напряжения 220 и 440 В, имеют тихоходное и быстроходное исполнения. При независимой вентиляции в длительном режиме тихоходные двигатели имеют мощность 2,5—185 кВт при частотах вращения 1200—440 об/мин (меньшие значения относятся к большим значениям мощности), быстроходные — 5,5—47 кВт при скорости 1400—770 об/мин. Двигатели допускают увеличение скорости в 2—2,5 раза ослаблением их потока возбуждения, причем в этом режиме максимальный вращающий момент не должен превосходить $0,8 M_{\text{ном}}$ для двигателей 220 В и $0,64 M_{\text{ном}}$ для двигателей 440 В. Двигатели с номинальным

напряжением 220 В допускают увеличение частоты вращения в 2 раза повышением напряжения до 440 В, максимальный вращающий момент при этом не должен превосходить $1,5 M_{\text{ном}}$. При питании двигателей от ТП с мостовой схемой выпрямления они допускают работу без сглаживающих реакторов.

9. Электродвигатели серии ПСТ, модернизированные, со встроенным тахогенератором предназначены для работы в широкорегулируемых приводах металлорежущих станков. Они имеют номинальное напряжение 110 В, номинальную мощность 0,12—0,37 кВт, номинальную частоту вращения 1000—3000 об/мин.

10. Электродвигатели серии ПБСТ со встроенным тахогенератором выполняются на напряжения 110, 220, 340, 440 В. Они имеют мощность от 0,4 до 11,3 кВт, номинальную частоту вращения 1000—3000 об/мин. Двигатели допускают перегрузку $4 I_{\text{ном}}$ в течение 10 с.

В качестве датчиков скорости в комплектных тиристорных электроприводах, как правило, используются тахогенераторы постоянного или переменного тока. Тахогенераторы переменного тока в большинстве случаев применяются для нереверсивных электроприводов, так как при изменении направления вращения в реверсивных электроприводах необходимо изменение полярности выходного напряжения тахогенератора, что требует использования достаточно сложной логической схемы. Однако в реверсивных электроприводах с изменением полярности тока возбуждения применение тахогенератора переменного тока целесообразно. Наибольшее распространение получили тахогенераторы постоянного тока серии ПТ и переменного тока серии ТТ. Сведения о них приведены в [1, 3].

В последние годы выпускаются тахогенераторы постоянного тока типов ТП80-20-0,2, ТП212, ТП130. Тахогенераторы типа ТП80-20-0,2 имеют номинальную частоту вращения 3000 об/мин, максимальную 6000 об/мин, минимальную 0,1 об/мин. Крутизна характеристики 20 мВ·мин/об. Сопротивление нагрузки не менее 10 кОм.

Погрешность тахогенератора не более 0,2 %. Пульсации выходного напряжения в диапазоне изменения скорости, %, не более:

От n_{max} до $0,1 n_{\text{ном}}$	0,2
От $0,1 n_{\text{ном}}$ до $0,01 n_{\text{ном}}$	1,5
От $0,01 n_{\text{ном}}$ до $0,001 n_{\text{ном}}$	2,5

Возбуждение тахогенератора осуществляется от постоянных магнитов. Асимметрия не более 0,2 %. Изменение выходной ЭДС при изменении температуры окружающей среды не более 0,02 % на 1 °С.

Тахогенераторы типов ТП130, ТП212 при номинальной частоте вращения обеспечивают напряжение 200 В при сопротивлении нагрузки не менее 2,1 кОм. Диапазон изменения скорости 1:200. Возбуждение тахогенератора осуществляется от постоянных магнитов. Тахогенератор типа ТП212 выполняется на номинальные частоты вращения 200, 400, 600, 1000, 1500, 2000 об/мин, а ТП130 — 1500, 2000, 3000, 4000 об/мин. Данные по точности и размаху пульсаций приведены в табл. 6.3.

В качестве датчиков положения в аналоговых системах управления используют в основном сельсины типов БД160 А или БД404 А с питанием их напряжением повышенной частоты — 400 или 1000 Гц. Технические данные сельсинов приведены в [1]. В цифровых системах управления скоростью и положением применяют импульсные датчики. Наи-

Т а б л и ц а 6.3

Параметр	ТП212	ТП130
Нелинейность выходной характеристики, %	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$
Асимметрия выходной характеристики	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$
Уровень пульсаций при $n_{\text{ном}}$, %:		
оборотных	0,1	0,1
полюсных	0,1	0,2
зубцовых	0,4	0,5
коллекторных	0,3	0,4

большее распространение получили импульсные датчики типов ПДФ-3 и ДИФ-5. Датчик типа ДИФ-5 выпускается в различных модификациях, различающихся по числу каналов (один или два) и по числу импульсов N на один оборот вала датчика ($N=45, 60, 100, 120, 540, 720, 800, 900, 1000, 1800$). Максимальная частота следования импульсов 20—50 кГц. Питание датчика осуществляется либо нестабилизированным напряжением ± 24 В при потребляемой мощности 6 Вт, либо стабилизированным напряжением ± 15 В при потребляемой мощности 2,5 Вт. Напряжение выходных сигналов: логического 0 от 0 до $\pm 0,6$ В, логической 1 ± 3 В или ± 12 В.

В датчике ПДФ-3 выходными сигналами являются две серии импульсов по двум различным каналам. Одна последовательность отстает от другой на четверть периода следования импульсов. Число импульсов на оборот $N=600$. Каждый из двух сигналов представлен в прямом и инверсном кодах, что позволяет повысить помехоустойчивость их передачи. Датчик питается нестабилизированным напряжением 24 В. Минимальное сопротивление нагрузки каждого канала 1,2 кОм. Потребляемый ток не более 0,3 А. Максимальная частота следования импульсов 100 кГц. Датчик формирует также нулевой импульс 1 раз за оборот. Напряжение выходных сигналов в состоянии логического 0 не более 3 В, в состоянии логической 1 не менее 20 В.

6.2. Силовое электрооборудование и аппаратура

Вводные устройства высокого напряжения (шкафы ввода высокого напряжения) предназначены для включения и отключения тока холостого хода и тока нагрузки комплектных преобразовательных устройств напряжением до 11 кВ включительно. Шкафы подразделяются:

по виду сочленения с трансформатором — правого исполнения (ШВВ-5П), левого исполнения (ШВВ-5Л) и верхнего исполнения (ШВВ-5В);

по наличию релейной приставки — с релейной приставкой или без нее. Релейная приставка к ШВВ предназначена для установки аппаратуры защиты и передачи импульса на отключение высоковольтного выключателя на питающей подстанции;

по роду защиты от внешних факторов. ШВВ имеет закрытое исполнение.

Шкафы рассчитаны на номинальное напряжение 10 кВ, номинальную силу тока 200 А и мощность сквозного тока короткого замыкания 500 МВ·А.

Конструктивно релейная приставка представляет собой автономный шкаф, который может быть установлен как на задней стенке шкафа, так и рядом с ним. При установке приставки на шкафу весь монтаж цепей вторичной коммутации между приставкой и шкафом выполняется заводом-изготовителем. Конструкция шкафа релейной приставки допускает ввод в нее снизу четырех контрольных кабелей.

В шкафах ШВВ, предназначенных для стыковки с трансформаторами типов ТНЗП, ТСЗП, комплектующими тиристорные преобразовательные агрегаты, установлены выключатели нагрузки типа ВН-11 со встроенными заземляющими жогами и трансформаторы тока.

Управление выключателем нагрузки осуществляется ручным приводом ПРА-17, заземляющими ногами — приводом ПР-10-Т.

Выключатели автоматические серии АЗ700 предназначены для защиты электрических установок при коротких замыканиях, перегрузках и недопустимых снижениях напряжения, для нечастых (до трех включений в 1 ч) оперативных включений и отключений электрической цепи. Они применяются в цепях постоянного тока с номинальным напряжением до 440 В* и в цепях переменного тока частотой 50 или 60 Гц, напряжением до 660 В. Выключатели АЗ700 соответствуют требованиям ТУ 16-522.028-74.

Выключатели подразделяются:

по роду тока — для установки в цепях постоянного или переменного тока;

по номинальному току — 160, 250, 400, 630 А**;

по числу полюсов — двухполюсные или трехполюсные (габаритные размеры двух- и трехполюсных выключателей одинаковы);

по номинальному напряжению главной цепи — 440 В (постоянного тока), 380 или 660 В (переменного тока);

по частоте переменного тока — 50 или 400 Гц;

по роду защиты и виду максимальных расцепителей тока: 1) токоограничивающие с электромагнитными и полупроводниковыми расцепителями максимального тока, с электромагнитными и тепловыми расцепителями, с электромагнитными расцепителями максимального тока; 2) селективные с полупроводниковыми расцепителями максимального тока; 3) нетокоограничивающие с электромагнитными и тепловыми расцепителями, с электромагнитными расцепителями максимального тока; 4) без расцепителей максимального тока;

по способу монтажа — стационарные или выдвижные;

по способу присоединения внешних проводников главной цепи у стационарных выключателей — с передним присоединением (с передней стороны выключателя), с задним присоединением (с задней стороны выключателя), с комбинированным присоединением (заднее — к выводам

* В тиристорных электроприводах они иногда применяются в цепях постоянного тока с номинальным напряжением до 660 В, но при этом используется особая схема их включения.

** Выключатели могут применяться в цепях постоянного тока с номинальным током 1000 и 1600 А, но при этом используется особая схема их включения.

неподвижных контактов, переднее — к выводам подвижных контактов); по наличию дополнительных сборочных единиц — независимого расцепителя, расцепителя нулевого напряжения, электромагнитного привода, вспомогательных контактов, выдвижного устройства.

В условном обозначении выключателей АЗ700 указывают порядковый номер разработки (37), величину выключателя (1 — для тока 160 А, 2 — для тока 250 А, 3 — для тока 400 А, 4 либо 9* — для тока 630 А), исполнение выключателя по числу полюсов, виду установки максимальных расцепителей тока и по максимально-токовой защите.

Для тиристорных электроприводов используются автоматические выключатели токоограничивающие с электромагнитными расцепителями (двухполюсные типов АЗ711Б, АЗ721Б, АЗ731Б, АЗ741Б или трехполюсные типов АЗ712Б, АЗ722Б, АЗ732Б, АЗ742Б), токоограничивающие с электромагнитными и тепловыми расцепителями (двухполюсные типов АЗ715Б, АЗ725Б, АЗ735Б или трехполюсные типов АЗ716Б, АЗ726Б, АЗ736Б), нетокоограничивающие с электромагнитными и тепловыми расцепителями (двухполюсные типа АЗ795Н или трехполюсные типа АЗ796Н).

Если далее не требуется конкретное обозначение исполнения выключателя по величине, числу полюсов, виду установки максимальных расцепителей, то указанные выключатели обозначаются АЗ701Б, АЗ702Б, АЗ705Б, АЗ706Б, АЗ790Н.

Технические данные выключателей с электромагнитными расцепителями приведены в табл. 6.4, с электромагнитными и тепловыми расцепителями — в табл. 6.5.

Тепловые расцепители выключателей при температуре окружающего воздуха $+40^{\circ}\text{C}$ и одновременном протекании тока по всем полюсам не вызывают срабатывания выключателя при номинальном токе теплового расцепителя, могут вызывать срабатывание при токе $1,05 I_{\text{ном}}$ теплового расцепителя не менее чем за 2 ч при начале отсчета от холодного состояния выключателя, вызывают срабатывание выключателей при токе $1,25 I_{\text{ном}}$ теплового расцепителя не менее чем за 2 ч при начале отсчета от нагретого состояния выключателя.

Для тиристорных электроприводов используются выключатели с независимыми расцепителями, расцепителями нулевого тока, электромагнитным приводом и вспомогательными контактами.

Независимый расцепитель отключает выключатель при подаче на выводы его катушки напряжения постоянного тока или однофазного переменного тока частотой 50 или 60 Гц. Номинальное напряжение постоянного тока независимого расцепителя 110 В (допустимые колебания на выводах катушки 77—132 В) или 220 В (допустимые колебания 154—264 В); номинальное напряжение переменного тока 440 В (пределы номинального рабочего напряжения 110—440 В, допустимые колебания на выводах катушки 77—528 В).

Полное время отключения выключателя при номинальном токе с момента подачи номинального напряжения на выводы катушки независимого расцепителя не более 0,04 с.

Расцепитель нулевого напряжения рассчитан на номинальные напряжения 127, 220, 230, 240, 300, 380, 400, 415 и 660 В однофазного переменного тока или 110 и 220 В постоянного тока. Расцепитель нуле-

* Выключатели АЗ790 выполняются в габарите АЗ730.

Т а б л и

Тип выключа- теля	Род тока	Частота, Гц	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	
				выключа- теля	электро- магнито- го расце- пителя
A3711Б	Переменный	50, 60	660	160	80
A3712Б			380		160
			660		
			380		
A3711Б	Постоянный	—	440		
A3721Б	Переменный	50, 60	660	250	250
A3722Б			380		
A3721Б	Постоянный	—	440		
A3731Б	Переменный	50, 60	660	400	400
A3732Б			380		
A3731Б	Постоянный	—	440		
A3741Б	Переменный	50, 60	660	630	630
A3742Б			380		
A3741Б	Постоянный	—	440		

* Ударный ток (мгновенное значение) при переменном токе и максималь-

** О — операция отключения; П — пауза 180 с; ВО — операция включения,

*** Пауза между коммутационным циклом О—П—ВО—П—ВО и операцией

ца 6.4

Уставка по току срабатывания электромагнитных расцепителей, А	Предельная коммутационная способность			Износостойкость выключателей, ВО		
	Предельный допустимый ожидаемый ток короткого замыкания, кА*	Количество коммутационных циклов О—П—ВО—П—ВО**	Количество коммутационных операций***	Общее количество	Коммутационная	Механическая
400	36	1	—	16 000	10 000	6000
	36		1			
630; 1000; 1600	40		—			
	75		1			
600; 750; 900	110		—			
1600; 2000; 2500	40		—			
	80		1			
960; 1200; 1500	110		—			
2500; 3200; 4000	55		—			
	100		1			
2400	110		—			
4000; 5000; 6300	60		—			
	100		1			
3800	110		—			

но возможное значение тока в цепи постоянного тока.
за которой немедленно следует операции отключения.
О не менее 15 мин.

Таблица 6.5

Тип выключателя	Род тока	Частота, Гц	Номинальное напряжение выключателя, В	Номинальный ток, А			Уставка по току срабатывания, А		Предельная коммутационная способность			Износостойкость выключателей, ВО					
				выключателей	электромагнитных расцепителей	тепловых расцепителей	тепловых расцепителей	электромагнитных расцепителей	Предельно допустимый ток КЗ, кА*	Количество коммутационных циклов О—П—ВО—П—ВО***	Количество коммутационных операций О**	Общее количество	Коммутационная	Механическая			
АЗ715Б, АЗ716Б	Переменный	50, 60	660	160	160	16	630	18		5,0	2	—	16 000	10 000	6000		
			380									1					
		400	380		150					5,5	1	—					
		50, 60	660		160	20		23		8,5		—					
			380							10		1					
		400	380		150					6	1	—					
		50, 60	660		160	25		29		10	2	—					
			380							15		1					
		400	380		150					9	1	—					

6000

10 000

16 000

1

630,
1600

160

Перемен-
ныйА3715Б,
А3716Б

50, 60	660	160	160	32	37	630, 1600	15	1	—	16 000	10 000	6000
	380						20		1			
400	380		150	10	—							
50, 60	660		160	40	46		15		—			
	380						20		1			
400	380		150	13	—							
50, 60	660		160	50	57		20		—			
	380						30		1			
400	380		150	19	—							
50, 60	660		160	63	72		20		1			
	380	30										
400	380	150	20	—								
50, 60	660	160	80	92	30	—						
	380				45	1						
400	380	150	20	—								

Тип выключателя	Род тока	Частота, Гц	Номинальное напряжение выключателя, В	Номинальный ток, А			Уставка по току срабатывания, А		Предельная коммутационная способность			Износостойкость выключателей, ВО		
				выключателей	электромагнитных расцепителей	тепловых расцепителей	тепловых расцепителей	электромагнитных расцепителей	Предельно допустимый ожидаемый ток КЗ, кА*	Количество коммутационных циклов О—П—ВО—П—ВО***	Количество коммутационных операций О**	Общее количество	Коммутационная	Механическая
АЗ725Б	Постоянный	—	440	250	250	160	185	1500	80	1	—	16 000	10 000	6000
						200	230		100					
						250	290		100					
АЗ735Б, АЗ736Б	Переменный	50, 60	660	400	400	250	290	2500	40	1	—	16 000	10 000	6000
			380						65					
			660			320	370	3200	55					
			380						100					
			660			400	460	4000	55					
			380						100					
АЗ736Б	Постоянный	—	440	400	400	250	290	2400	80	1	—	16 000	10 000	6000
						320	370		100					
						400	460		100					

А3795Н, А3796Б	Перемен- ный	50, 60	660	630	630	250	290	2500	40	1	—	12 500	8000	4500
			380						65		1			
			660			320	370	3200	40		—			
			380						70		1			
			660			400	460	4000	40		—			
			380						70		1			
			660			500	575	5000	40		—			
			380						70		1			
			660			630	725	6300	40		—			
			380						70		1			
А3795Н	Постоян- ный	—	440	630	630	250	230	2400	40	1	—	12 500	8000	4500
						320	370	2400	50					
						400	460	2400	50					
						500	575	3800	50					
						630	725	3800	50					

* Ударный ток (мгновенное значение) при переменном токе и максимально возможное значение тока в цепи при постоянном токе.

** О — операция отключения; П — пауза 180 с; ВО — операция включения, за которой немедленно (без дополнительной выдержки полного времени срабатывания выключателя выдержки времени) следует операция отключения.

*** Пауза между коммутационными циклами О—П—ВО—П—ВО не менее 30 мин.

* Пауза между коммутационным циклом О—П—ВО—П—ВО и операцией О не менее 15 мин.

Таблица 6.6

Параметр	ВАТ-42-2000/ /6-Л-У4	ВАТ-42-2000/ /10-Л-У4	ВАТ-42-4000/ /6-Л-У4	ВАТ-42-4000/ /10-Л-У4
Номинальный ток при постоянной нагрузке, температуре 40 °С и установке выключателя в помещении (не в шкафу), А	2000	2000	4000	4000
Рабочий ток в режиме работы электропривода при температуре 40 °С и установке выключателя вне шкафа, А	2000	2000	3500	3500
Рабочий ток в режиме работы электропривода при установке выключателя в шкафу, А	1900	1900	3500	3500
Номинальное напряжение главной цепи, В	660	1050	660	1050
Максимальное значение аварийного тока в индуктивной цепи, А	При индуктивности 0,55 мГн 70 000 При индуктивности 2,0 мГн 20 000		При индуктивности 0,34—0,55 мГн 80 000 При индуктивности 1 мГн 45 000	
Максимальное значение аварийного тока в безындуктивной цепи, А	70 000	70 000	90 000	90 000
Тип реле (дифференциальный шунт)	РДШ-3000	РДШ-3000	РДШ-6000	РДШ-6000
Пределы токов уставки, А	800—2000; 1600—4000; 2400—6000	800—2000; 1600—4000; 2400—6000	1600—4000; 2400—6000; 4000—8000	1600—4000; 2400—6000; 4000—8000

Параметр	БАТ-42-2000/ /6-Л-У4	БАТ-42-2000/ /10-Л-У4	БАТ-42-4000/ /6-Л-У4	БАТ-42-4000/ /10-Л-У4
Собственное время размыкания при отключении (при работе с приводом ИДП), с	0,002	0,002	0,002	0,002
Полное время отключения (в цепи с максимальной силой аварийного тока в безындуктивной цепи), с	0,012	0,012	0,015	0,015
Минимальный отключаемый ток, А	40	40	80	80
Параметр	БАТ-42-6300/ /6-Л-У4	БАТ-42-6300/ /10-Л-У4	БАТ-42-10000/ /6-Л-У4	БАТ-42-10000/ /10-Л-У4
Номинальный ток при постоянной нагрузке, температуре 40 °С и установке выключателя в помещении (не в шкафу), А	6300	6300	10 000	10 000
Рабочий ток в режиме работы электропривода при температуре 40 °С и установке выключателя вне шкафа, А	5000	5000	10 000	10 000
Рабочий ток в режиме работы электропривода при установке выключателя в шкафу, А	5000	5000	10 000	10 000
Номинальное напряжение главной цепи, В	660	1050	660	1050

Максимальное значение аварийного тока в индуктивной цепи, А	При индуктивности 0,34—0,55 мГн 80 000 При индуктивности 0,8 мГн 55 000	При индуктивности 0,15—0,25 мГн 100 000 При индуктивности 0,4 мГн 80 000		
Максимальное значение аварийного тока в безындуктивной цепи, А	100 000	100 000	100 000	100 000
Тип реле (дифференциальный шунт)	РДШ-6000	РДШ-6000	РДШ-6000	РДШ-6000
Пределы токов уставки, А	4000—8000; 8000—12 000	4000—8000; 8000—12 000	2400—6000; 4000—8000; 8000—12 000	2400—6000; 4000—8000; 8000—12 000
Собственное время размыкания при отключении (при работе с приводом ИДП), с	0,002	0,002	0,002	0,002
Полное время отключения (в цепи с максимальной силой аварийного тока в безындуктивной цепи), с	0,015	0,015	0,015	0,015
Минимальный отключаемый ток, А	80	80	80	80

Примечания: 1. Превышение температуры воздуха в шкафу над температурой воздуха вне шкафа не должно быть более 10 °С.

2. Для выключателей ВАТ-42-10000 используются два реле РДШ. В таблице приведены значения уставки одного реле РДШ.

3. ИДП — индукционно-динамический привод.

и 10 000 А (в схемах электропривода — соответственно 2000, 3500, 5000 и 10 000 А).

Выключатели ВАТ-42 соответствуют требованиям ТУ 16-520.160-75. В условном обозначении типа выключателя серии ВАТ (выключатель автоматический токоограничивающий) через дефис указывается порядковый номер конструкции (42), затем через дефис — номинальный ток выключателя, затем через косую черту — цифра, характеризующая номинальное напряжение (6 — для 660 В, 10 — для 1050 В), и через тире — буква Л (линейный).

Номинальный ток, указанный в обозначении типа, относится к выключателю, установленному в помещении (не в шкафу), при температуре окружающего воздуха 40 °С и постоянной во времени нагрузке. Значения рабочего тока выключателей ВАТ-42 при перегрузках в схемах электропривода и установке выключателей в помещениях либо в шкафу приведены в табл. 6.6. Выключатели ВАТ-42 выдерживают следующие перегрузки по отношению к рабочему току в режиме работы электропривода: 75 % в течение 60 с и 150 % в течение 10 с. При этом перегрузки имеют циклический характер и за время цикла, состоящего из перегрузки и паузы, среднеквадратичное значение тока не должно превышать рабочее значение тока.

В табл. 6.6 приведены основные технические параметры выключателей ВАТ-42. Полное время отключения, приведенное в табл. 6.6, — это время от достижения током защищаемой цепи значения уставки выключателя до момента полного исчезновения тока (так как полное время отключения зависит от параметров контура, т. е. постоянной времени, то значение, приведенное в табл. 6.6, соответствует определенной постоянной времени). Собственное время размыкания выключателя — время от достижения током защищаемой цепи значения тока уставки выключателя до появления напряжения на контактах выключателя.

Конструктивно выключатель ВАТ-42-2000 (ВАТ-42-4000, ВАТ-42-6300) состоит из блока быстродействующего электромагнитного привода (механизма), индукционно-динамического привода (ИДП), контактного блока, дугогасительной камеры, блока сигнализации, станции управления (СУ), блока управления ИДП (БУ) и тележки с втычными контактами. Выключатель ВАТ-42-10000 представляет собой два полуса выключателя ВАТ-42-6300, соединенных параллельно.

Выключатели ВАТ-42-2000 и ВАТ-42-4000 установлены на тележках. Подсоединение главных цепей к шинам у этих выключателей — через гибкие связи, входящие в комплект поставки выключателя; подсоединение цепей управления — через штепсельные разъемы.

Выключатели ВАТ-42-6300 и ВАТ-42-10000 установлены на тележке и имеют болтовое подсоединение главных цепей к шинам; подсоединение цепей управления выключателя ВАТ-42-6300 — через штепсельный разъем, а ВАТ-42-10000 — непосредственно к вспомогательным контактам.

На рис. 6.2 дана схема управления автоматическим выключателем ВАТ-42 для КТЭУ на 1600—4000 А. На схеме приведена аппаратура, установленная непосредственно в шкафу (шкаф ШАБ) и в блоке управления ИДП (блок БУ).

Постоянное напряжение 220 В подается в схему управления выключателя (ШАБ) через автоматические выключатели В11 и В12. Переменное напряжение 220 В подается на трансформатор Т1 блока БУ че-

саторов происходит от однополупериодных выпрямителей 1 и 2. При достижении на батарее конденсаторов напряжения 500—550 В срабатывает реле *Р1*, которое замыкает контакты в цепи включающей катушки *В1* и контактора включения *К*.

Включение и оперативное отключение автоматического выключателя могут выполняться с двух мест: со шкафа, в котором установлен выключатель (переключателем *ВУ/ШАБ*), и со щита управления электроприводом (переключателем *ВУ2/ЩУ*).

Включение автоматического выключателя происходит при замыкании контактов 11-12, 13-14, 1-2 переключателя *ВУ/ШАБ* (либо *ВУ2/ЩУ*), в результате чего подается напряжение на катушку контактора включения выключателя *К* и катушку отключения *КО* (контакт реле *Р1* в блоке промежуточных реле *БПР1* замкнут при собранной защите привода и замкнут контакт *РВМ* при отключенном масляном выключателе). Контактор *К* замыкает свои контакты в цепи включающей катушки автоматического выключателя *В1*, шунтируя добавочный резистор *Р2*. По включающей катушке выключателя *В1* протекает включающий ток, и якорь выключателя притягивается. Механизм свободного расцепления удерживает контакты от замыкания до тех пор, пока по катушке *В1* протекает большой ток. В результате притяжения якоря автомата блокировочные контакты *С3* и *С4* замыкаются, контактор-повторитель *КП* и блокировочное реле *РБ* включаются и размыкают цепь катушки контактора включения *К*. Контактор отключается, якорь механизма свободного расцепления сбивает защелку, автомат включается.

Контактор *КП* и блокировочное реле *РБ* служат для предотвращения многократных включений и отключений автоматического выключателя в том случае, когда аварийный ток возникает в защищаемой цепи в момент включения выключателя при положении переключателя *ВУ/ШАБ* (*ВУ2/ЩУ*) *Вкл. РБ*, срабатывая, разрывает цепь катушки контактора *К* и не позволяет контактору повторно включаться, если выключатель отключается от аварийного тока. Для повторного включения автоматического выключателя необходимо переключатель *ВУ/ШАБ* (*ВУ2/ЩУ*) установить в положение 0 либо *Откл.* и вновь затем в положение *Вкл.*

При оперативном отключении автоматического выключателя размыкается цепь катушки контактора отключения *КО* переключателем *ВУ/ШАБ* (*ВУ2/ЩУ*), контактом *КО* разрывается цепь катушки *В1*, выключатель отключается.

При возникновении аварийного тока в защищаемой цепи выключатель отключается после размыкания коммутирующего контакта реле максимального тока *РДШ* в цепи катушки *В1*.

Для уменьшения собственного времени размыкания контактов (до 1—2 мс) служат ИДП, подключаемый к блоку управления *БУ*. Клеммы *4БУ* и *5БУ* блока управления *БУ* подсоединены непосредственно на контакты реле *РДШ*, включенные в цепь включающей катушки выключателя *В1*. При размыкании контактов реле *РДШ*, включенных в цепь катушки выключателя, на контактах *4БУ* и *5БУ* появляется напряжение, заряжающее конденсаторы *С3* и *С4*.

При достижении на конденсаторе *С3* напряжения 20—30 В происходит переключение динистора *V9(V10)* при минусе (плюсе) питающего напряжения на клемме *4БУ*, конденсатор *С3* разряжается на первич-

ную обмотку трансформатора *T2*. Во вторичной обмотке трансформатора появляется импульс управления, который через диоды *V6*, *V5* и резисторы *R12* и *R13* поступает на управляющий переход тиристора *V3*.

Диоды *V8*, *V7*, включенные встречно-параллельно динисторам *V9* и *V10*, служат для защиты динисторов от обратных напряжений. Резистор *R14* используется для разряда конденсатора *C4* и предотвращает появление управляющего импульса на тиристоре *V3* при замыкании контактов реле *РДШ* после окончания аварийного режима. Резистор *R11* предназначен для снятия заряда с управляющего перехода тиристора, для исключения ложного открытия тиристора, работающего в ждущем режиме. Стабилитрон *V4* защищает управляющий электрод тиристора *V3* от больших токов управления.

В цепи катушки *ИДП* установлено блокировочное токовое реле *РТ*, которое при срабатывании *ИДП* разрывает цепь включающей (державшей) катушки автоматического выключателя.

До срабатывания реле *РДШ*, сигнал на отключение выключателя от блока защиты (точки *1БУ* и *16БУ*) поступает непосредственно на управляющий электрод тиристора *V3*, в результате чего сразу подается напряжение на катушку *ИДП*. Уставка на срабатывание выключателя от блока защиты ниже уставки срабатывания *РДШ*.

Предохранители серии ПП57 предназначены для защиты преобразовательных агрегатов с силовыми кремниевыми полупроводниковыми вентилями при внутренних коротких замыканиях в цепях переменного или пульсирующего тока частотой 50 и 60 Гц и в цепях постоянного тока.

Структура обозначения предохранителей *ПП57-ABCD-EF*:

буквы *ПП* — предохранитель плавкий;

двузначное число 57 — условный номер серии;

A — двузначное число — условное обозначение номинального тока предохранителя;

B — цифра — условное обозначение номинального напряжения предохранителя;

C — цифра — условное обозначение по способу монтажа и виду присоединения проводников к выводам предохранителя (например, 7 — на проводниках преобразовательного устройства — болтовое с уголковыми выводами);

D — цифра — условное обозначение наличия указателя срабатывания и контакта вспомогательной цепи:

0 — без указателя срабатывания, без контакта вспомогательной цепи;

1 — с указателем срабатывания, с контактом вспомогательной цепи;

2 — с указателем срабатывания, без контакта вспомогательной цепи;

E — буква — условное обозначение климатического исполнения;

F — цифра — категория размещения.

Пример условного обозначения предохранителя: *ПП57-37971-УЗ*.

Номинальные потери мощности при номинальном токе и температуре окружающего воздуха 40 °C приведены в табл. 6.7.

Контакты вспомогательной цепи выдерживают в продолжительном режиме нагрузку 1 А при номинальном напряжении 220 В постоянного или 380 В переменного тока.

Т а б л и ц а 6.7

Тип предохранителя	Номинальный ток плавкой вставки, А	Номинальные потери мощности плавкой вставки, Вт
ПП57-3127	25	4
	40	7
	63	12
	100	13
ПП57-3427	160	30
	250	37
ПП57-3137	40	10
	63	20
	100	30
ПП57-3437	160	50
	250	60
ПП57-3737	315	90
	400	100
ПП57-3937	500	130
	630	160
ПП57-3167	63	25
	100	35
ПП57-3467	160	60
	250	80
ПП57-3767	315	100
	400	120
ПП57-3967	500	150
	630	180
ПП57-3797	315	100
	400	120
ПП57-3997	500	150
	630	180
ПП57-3738	315	100
	400	110

Продолжение табл. 6.7

Тип предохранителя	Номинальный ток плавкой вставки, А	Номинальные потери мощности плавкой вставки, Вт
ПП57-3768	315 400	120 150
ПП57-3938	500 630	130 180
ПП57-3968	500 630	150 200
ПП57-4038 ПП57-4068	800 800	210 230

Допустимый ток предохранителя (из условия допустимого нагрева контактных выводов не более 130 °С в зависимости от температуры окружающего воздуха от 40 до 60 °С) приведен в табл. 6.8.

Контакты серии КПВ600 предназначены для включения и отключения силовых электрических цепей. В электроприводах контакторы работают в продолжительном режиме. Контакторы имеют один замыкающий контакт. Основные технические данные контакторов приведены в табл. 6.9.

Втягивающие катушки контакторов пригодны для работы только от сети постоянного тока и имеют номинальное напряжение 24, 48, 110 и 220 В.

Номинальный ток продолжительного режима и коммутационная способность контактов вспомогательной цепи контакторов при индук-

Т а б л и ц а 6.8

Номинальный ток плавкой вставки, А, при 40 °С	Допустимый ток предохранителя, А, при температуре окружающего воздуха, °С			
	45	50	55	60
25	22	20	18	15
40	36	32	28	25
63	55	50	45	40
100	90	80	73	63
160	140	125	112	100
250	225	200	180	160
315	300	280	260	250
400	380	360	340	315
500	475	450	425	400
630	600	570	540	500
800	760	720	680	640

Таблица 6.9

Величина кон- тактора	Тип контактора	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	Мощность каатушки, Вт	Собственное время, с	
					втягива- ния	отпадания
II	КПВ 602-УЗ	100	220	30	0,13	0,07
III	КПВ 603-УЗ	160		40	0,16	0,12
IV	КПВ 604-УЗ	250		50	0,28	0,12
V	КПВ 605-УЗ	630		70	0,37	0,23

тивной нагрузке (с постоянной времени на постоянном токе не более 0,05 с и с коэффициентом мощности на переменном токе не менее 0,4) указаны в табл. 6.10.

Контакторы однополюсные постоянного тока типов КП7, КП207 предназначены для коммутирования силовых электрических цепей генераторов и электродвигателей постоянного тока при номинальном напряжении 600 В. Они исполняются с замыкающими главными контактами. Контактор КП207 отличается от соответствующего исполнения контактора КП7 наличием отключающих пружин. Номинальный ток контакторов КП7УЗ, КП207УЗ 2500 А, номинальное напряжение 600 В.

Таблица 6.10

Род тока	Номинальный ток продолжительно- го режима, А	Напряжение, В	Включае- мый ток, А	Отключаемый ток, А
Постоянный	10	110	25	2,5
		220	25	1
Переменный	10	380	50	5

Таблица 6.11

Тип контактора	Время срабатывания контактора, с	
	замыкания	размыкания
КП7 КП207 (с учетом реле форси- ровки)	0,17—0,35 0,25	0,08—0,15 0,05—0,08

Контакты рассчитаны на продолжительный режим работы при номинальном токе. Предельно допустимое число включений в час — 30. Собственное время срабатывания контакторов указано в табл. 6.11. Контакторы могут изготавливаться со встроенным максимальным реле, имеющим один замыкающий и один размыкающий контакты. Уставки тока срабатывания максимального реле контакторов КП7УЗ, КП207УЗ 1250, 1600, 2500, 3750, 5000 А. Контакторы имеют три замыкающих и три размыкающих вспомогательных контактов, из которых один размыкающий контакт задействован в цепи форсировки катушки. Коммутационная способность вспомогательных контактов указана ниже:

Номинальный ток продолжительного режима, А	10
Включаемый ток, А	25
Отключаемый ток, А:	
в активной цепи 110 В	5
то же 220 В	2
в индуктивной цепи 110 В	2,5
то же 220 В	1

Включающие катушки контакторов изготавливаются на напряжение 110 и 220 В.

Контакторы серии МК (типы указаны в табл. 6.12) применяются для работы в силовых электрических цепях и цепях управления при

Таблица 6.12

Тип контактора	Номинальный ток, А, при постоянном напряжении	
	220 В	440 В
МК1-10А, МК1-10Б	40	—
МК1-01А, МК1-01Б		
МК1-11А, МК1-11Б		
МК1-20А, МК1-20Б	40	40
МК1-02А, МК1-02Б	40	—
МК1-21А, МК1-21Б		
МК1-22А, МК1-22Б	40	—
МК2-10А, МК2-10Б	63	—
МК2-01А, МК2-01Б		
МК2-11А, МК2-11Б		
МК2-20А, МК2-20Б	63	40
МК2-02А, МК2-02Б	63	—
МК3-10А, МК3-10Б	100	—
МК3-01А, МК3-01Б		
МК3-11А, МК3-11Б		
МК4-01А; МК4-01Б	100	—
МК4-10А, МК4-10Б		
МК4-11А, МК4-11Б		

Таблица 6.13

Тип контактора	Режим редких коммутаций			
	Включение		Отключение	
	Коммутируемый ток, А	Напряжение, В	Коммутируемый ток, А	Напряжение, В
МК1А, МК1Б	400	242	400	242
МК2А, МК2Б	630	242	630	242
МК2А, МК2Б	400	484	400	484
МК3А, МК3Б	1000	242	1000	242
МК4А, МК4Б	1600	242	1000	242

напряжении до 440 В постоянного и до 660 В частотой 50 и 60 Гц переменного тока. В комплектных тиристорных электроприводах используются контакторы серии МК постоянного тока.

Таблица 6.14

Номинальное сопротивление резисторов в блоке, Ом	Номинальный ток, А	Число резисторов типа ЭСЗ, шт.	
		проволочных	ленточных
261	1	11	—
187	1,2	11	—
140	1,4	11	—
95,3	1,8	11	—
48,1	2,9	11	—
37	3,3	11	—
27,4	3,7	11	—
21,5	4,2	11	—
18	4,7	11	—
12	5,8	11	—
7,96	6,7	11	—
5,76	7,9	11	—
4,42	9,1	11	—
3,43	10,2	11	—
2,8	11,6	11	—
1,96	14,1	11	—
1,45	16,6	11	—
1,1	19,1	11	—
0,898	21,7	11	—
0,698	24,3	11	—
0,642	23,6	—	11
0,481	27,4	—	11
0,402	30,1	—	11
0,32	33,8	—	11
0,261	37,9	—	11
0,2	43,6	—	11

Допустимая частота срабатываний контакторов под нагрузкой в повторно-кратковременном режиме — до 1200 циклов включений — отключений (ВО) в час при ПВ=40 %.

Контакторы выполняются: с втягивающими катушками только постоянного тока на номинальные напряжения цепи управления 24, 48, 50, 75, 110 и 220 В; с четырьмя (с двумя замыкающими и двумя размыкающими) контактами вспомогательной цепи, рассчитанными на номинальное напряжение 110—660 В переменного и 110—220 В постоянного тока. Собственное время включения контакторов — около 0,08 с, собственное время отключения 0,06 с. Потребляемая мощность втягивающих катушек 40 Вт при 20 °С.

Коммутационная способность главных контактов при их работе в режимах редких коммутаций в тиристорных электроприводах приведена в табл. 6.13.

Ток продолжительного режима и коммутационная способность контактов вспомогательной цепи при индуктивной нагрузке (с постоянной времени при постоянном токе не более 0,05 с или с коэффициентом мощности при переменном токе не менее 0,4) указаны ниже:

Номинальный ток, А	10
Номинальное рабочее напряжение, В	110; 220
Включаемый ток, А	12,5; 5
Отключаемый ток, А	1,25; 0,5

Блоки резисторов типов ЯСЗ, ЯС4 предназначены для эксплуатации в силовых электрических цепях управления переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением до 660 В и постоянного тока напряжением до 440 В в качестве добавочных, нагревательных, нагрузочных, разрядных, регулирующих, тормозных и т. д.

Технические данные блоков типа ЯСЗ исполнения УЗ приведены в табл. 6.14.

Т а б л и ц а 6.15

Номинальное сопротивление, Ом	Номинальный ток, А	Номинальное сопротивление ступеней, Ом						
		1	2	3	4	5	6	7
0,097	218	0,0203	0,0185	0,0185	0,0203	0,0194	—	—
0,125	187	0,0241	0,0259	0,0259	0,0241	0,025	—	—
0,187	152	0,0362	0,0388	0,0388	0,0362	0,0375	—	—
0,292	116	0,0572	0,0589	0,0598	0,0572	0,0585	—	—
0,388	109	0,0777	0,0777	0,0777	0,0777	0,0777	—	—
0,5	93,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	—	—
0,75	76	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	—	—
1,17	58	0,234	0,234	0,234	0,234	0,234	—	—
1,56	54,5	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312	—	—
2,06	46	0,412	0,412	0,412	0,412	0,412	—	—
2,95	38	0,437	0,453	0,432	0,448	0,448	0,432	0,3000
4,08	28,5	0,605	0,627	0,597	0,619	0,619	0,597	0,4150
5,35	27,5	0,766	0,851	0,802	0,79	0,79	0,802	0,5470
6,850	23,5	1,015	1,052	1,003	1,04	1,04	1,003	0,6970

Блоки типа ЯСЗ — стандартизированные, они отличаются друг от друга значениями сопротивлений и допустимым током нагрузки. В каждый блок устанавливают резисторы, одинаковые по сопротивлению.

Технические данные блоков типа ЯС4 исполнения УЗ приведены в табл. 6.15. В блоках ЯС4 УЗ используются пять резисторов типа ЭС10.

Блоки ЯС4 — стандартизированные. Они отличаются друг от друга схемой соединений резисторов, общим сопротивлением, сопротивлением отдельных ступеней, номинальным током нагрузки. В стандартизированном блоке все резисторы одинаковы по сопротивлению.

6.3. Аппаратура цепей регулирования, защиты, сигнализации

Выключатели автоматические АК-63 предназначены для отключения при перегрузках и коротких замыканиях электрических цепей напряжением постоянного тока до 440 В (однополюсные до 240 В) или переменного тока частотой 50—60 Гц до 500 В, оперативных включений и отключений (до 30 в час) этих цепей (в том числе асинхронных электродвигателей до 12 в час).

Основные параметры выключателей, исполнение и их обозначение соответствуют указанным в табл. 6.16. Номинальный ток выключателя 63 А.

Механическая и коммутационная износостойкость свободных контактов выключателей — 40 000 циклов. Свободные контакты выключателей допускают нагрузку в продолжительном режиме током 2,5 А. Предельный ток включения 10 А. Предельный ток отключения:

постоянный при напряжении 220 В и постоянной времени цепи 0,01 с — 0,25 А;

переменный частотой 50 Гц при коэффициенте мощности 0,4: при напряжении 127 В — 2,5 А, при напряжении 220 В — 1,6 А, при напряжении 380 В — 1,0 А, при напряжении 440 В — 0,5 А.

Реле электромагнитное РЭВ800 применяют в схемах автоматического управления в качестве электромагнитных реле времени, контроля тока, контроля напряжения и промежуточных, они пригодны для работы в прерывисто-продолжительном и повторно-кратковременном режимах. Реле времени РЭВ811—РЭВ818 изготовляют с втягивающими катушками на номинальные напряжения 24, 48, 60, 110, 220 В. Выдержка времени при отпадании якоря реле может быть получена отключением катушки от сети и закорачиванием катушки. Благодаря применению съемных дополнительных демпферов, выполняемых из меди или алюминия, а также немагнитных прокладок диапазоны выдержек времени реле различны. В табл. 6.17 приведены пределы выдержек времени реле в зависимости от схемы включения.

Собственное время замыкания замыкающих контактов реле при номинальном напряжении около 0,3 с. Потребляемая мощность втягивающей катушки не более 25 Вт. Реле контроля напряжения и промежуточные РЭВ821, РЭВ822, РЭВ825, РЭВ826 изготовляют с втягивающими катушками на номинальные напряжения 24, 48, 110 и 220 В. Масса реле не более 5 кг. Ниже приведены пределы регулировки напряжения

Таблица 6.16

Исполнение выключателя

Типоисполнение выключателя	по числу полюсов	по виду электромагнитного максимального расцепителя тока		по роду тока		по номинальному току расцепителя, А	по току мгновенного срабатывания (уставке) $I_{\text{ном}}$		по способу крепления		по наличию свободных контактов	
		Для защиты в зоне токов короткого замыкания и в зоне токов перегрузки (МГ)	Для защиты в зоне токов короткого замыкания (М)	Постоянный ток	Переменный ток частотой 50—60 Гц		Постоянный ток	Переменный ток	На панели	За панелью	131Р	Без контактов
AK63-1МГ	1	+	—	+	+	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50 и 63	5	12	+	+	—	+
AK63-2МГ	2	+	—	+	+				+	+	+	+
AK63-3МГ	3	+	—	—	+				+	+	+	+
AK63-1М	1	—	+	+	+		1,5 и 5	1,5; 3; 12	+	+	—	+
AK63-2М	2	—	+	+	+		5	3 и 12	+	+	+	+
AK63-3М	3	—	+	—	+		—	3 и 12	+	+	+	+

Таблица 6:17

Тип реле	Климатическое исполнение	Число контактов	Пределы регулировки выдержки времени, с, полученные		Время заряда, с, не менее
			отключением катушки	закорачиванием катушки	
РЭВ811 РЭВ812 РЭВ813 РЭВ814	У3; УХЛ4; Т (УХЛ)3	Два перестраиваемых	0,25—1 0,8—2,5 2,0—3,5 3,0—5	0,4—1,5 0,9—2,8 2,2—3,8 3,8—5,5	0,5 0,7 0,9 0,9
РЭВ815 РЭВ816 РЭВ817 РЭВ818	У3; УХЛ4	Три перестраиваемых, один замыкающий	0,25—0,6 0,5—1,5 1,2—2,5 2,0—3,5	0,4—0,9 0,6—1,7 1,3—2,7 2,2—3,8	0,5 0,7 0,9 0,9
РЭВ815 РЭВ816 РЭВ817 РЭВ818	Т3	То же	0,25—0,5 0,4—1,2 1,0—2 1,7—3	0,4—0,7 0,5—1,4 1,1—2,2 1,6—3,2	0,5 0,7 0,9 0,9

втягивания реле напряжения и промежуточного при окружающей температуре $20 \pm 5^\circ \text{C}$:

Тип реле	Исполнение контактов	Напряжение втягивания, % $U_{\text{ном}}$
РЭВ821	Два перестраиваемых	25—80*
РЭВ822	То же	65
РЭВ825	Три перестраиваемых	35—80*
РЭВ826	Один замыкающий	65

* Реле регулируются на напряжение втягивания либо напряжение отпуска.

Собственное время втягивания промежуточного реле при номинальном напряжении около 0,1 с. Собственное время отпадания реле около 0,1 с. Коэффициент возврата реле не нормируется, он зависит в основном от толщины немагнитной прокладки и затяжки отжимной пружины и составляет ориентировочно 0,3. Потребляемая мощность втягивающей катушки не более 25 Вт.

Реле минимального тока РЭВ830 изготавливают с втягивающими катушками на номинальные токи 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 63;

100; 160; 250; 320; 400 и 630 А. Конструкция реле допускает применение токовых катушек на большие значения номинальных токов при сохранении номинального значения МДС, равного 2400 А. Реле регулируют на ток втягивания в пределах 30—80 %. Коэффициент возврата реле не нормируется и составляет ориентировочно 0,3. Реле имеет один замыкающий, один размыкающий контакты. По условиям динамической устойчивости втягивающая катушка тока обеспечивает протекание 10-кратного по отношению к номинальному тока в течение 0,5 с. Номинальный ток контактов 10 А. Коммутационная способность контактов приведена в табл. 6.18.

Таблица 6.18

Постоянный и переменный (длительный)	Допустимый ток, А						
	Включаемый ток, А			Отключаемый ток, А			
	переменный		постоянный	переменный		постоянный	
	380 В	660 В		330 В	660 В	110 В	220 В
10	100	50	25	10	5	2,5	1

Коммутационная износостойкость контактов реле серии РЭВ800 при коммутировании токов, указанных в табл. 6.19, равна 1 млн. коммутационных циклов.

Таблица 6.19

Включаемый ток, А				Отключаемый ток, А			
переменный		постоянный		переменный		постоянный	
380 В	660 В	110 В	220 В	380 В	660 В	110 В	220 В
25	10	1,25	0,5	2,5	1	1,25	0,5

Реле промежуточные серии РПУ2 предназначены для работы в электрических цепях управления и промышленной автоматики переменного тока напряжением до 440 В, частотой 50 и 60 Гц и постоянного тока напряжением до 220 В. Реле изготавливают:

с катушками напряжения на номинальные напряжения 12, 24, 48, 60, 110, 220 В постоянного тока, 12, 24, 36, 110, 127, 220, 230, 240, 380, 400, 415 В переменного тока частотой 50 Гц и 110, 220, 380, 440 В переменного тока частотой 60 Гц;

с катушками тока на номинальные токи 0,4; 0,5 А постоянного тока и 0,2; 0,4 А переменного тока частотой 50 и 60 Гц.

Основные параметры реле должны соответствовать указанным ниже значениям:

Номинальный ток контактов, А	4
Длительно допустимый ток контактов, А	5
Минимальный ток контактов, А	0,025
Номинальное напряжение контактов, В:	
постоянного тока	12—220
переменного тока	12—380
Потребляемая мощность, не более:	
реле постоянного тока, Вт	4
реле переменного тока, В·А	9
Пусковая потребляемая мощность для реле переменного тока, В·А, не более	16
Собственное время включения при номинальном напряжении (токе), с, не более:	
реле постоянного тока	0,05
реле переменного тока	0,036
Собственное время отключения при номинальном значении напряжения (тока), с, не более	0,02
Номинальное напряжение изоляции, В	500
Механическая износостойкость, млн. циклов:	
реле постоянного тока	16
реле переменного тока	10

Реле промежуточные серии РП20. Реле применяются в цепях управления электроприводами переменного тока напряжением до 440 В и постоянного тока напряжением до 220 В. Номинальные напряжения катушек реле 12, 15, 24, 48, 60, 110, 220 В постоянного тока и 12, 24, 36, 110, 220, 230, 240, 380 В переменного тока, номинальные токи токовых катушек 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0 и 10,0 А. Номинальная мощность катушки при числе контактов не более четырех 2 Вт, при большем числе контактов 4 Вт. Реле имеет от 2 до 12 контактов, среди которых могут быть как замыкающиеся, так и размыкающиеся.

Контакты реле выполняются на токи 2,5 и 6 А без дугогашения и 6 А с дугогашением. В режиме редких коммутаций номинальные рабочие токи указаны в табл. 6.20. Габаритные размеры реле 75×77×82 мм.

Таблица 6.20

Исполнение реле РП20		Род напряжения на контактах	Номинальное напряжение на контактах, В	Коммутируемый ток, А
Номинальный ток контактов, А	Число контактов			
2,5	12	Переменное	До 110	2,5

Продолжение табл. 6.20

Исполнение реле РП20		Род напряжения на контактах	Номинальное напряжение на контактах, В	Коммутируемый ток, А
Номинальный ток контактов, А	Число контактов			
2,5	12	Постоянное*	До 24	2,5
			48	1
			60	0,4
			110	0,2
			220	0,1
	8 и менее	Переменное	До 110 220	4 2,5
		Постоянное*	12, 15	4
			24	3
			48	1,5
			60	0,6
			110	0,3
			220	0,15
6	8 и менее без дугогашения	Переменное	До 380	6
		Постоянное*	12	6
			15	5
			24	3
			48	1,5
			60	0,6
			110	0,3
			220	0,15
	8 и менее с дугогашением	Постоянное*	До 60	6
			110	1
			220	0,25

* Постоянная времени нагрузки не более 0,4 с.

Реле промежуточное РП21. Реле предназначено для применения в цепях управления переменного тока напряжением до 380 В и постоянного тока напряжением до 220 В. Номинальные напряжения катушек реле 6, 12, 24, 48, 60, 110 В постоянного тока, 12, 24, 36, 110, 220, 230, 240 В переменного тока, номинальные токи катушек токовых реле 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4 А постоянного тока.

Потребляемая мощность — не более 2,5 Вт постоянного тока или 3,5 В·А переменного тока. Реле имеет от одного до четырех контактов. Номинальный ток контактов 5 А при напряжении 12—220 В постоянного тока и 12—380 В переменного тока. Коммутационная способность в режиме редких коммутаций 5 А переменного тока и 35—48 Вт постоянного тока. Габаритные размеры реле 54×33×33 мм.

Раздел 7

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКТНЫМИ ТИРИСТОРНЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

7.1. Номенклатура аналоговых элементов систем управления

Системы управления комплектными тиристорными электроприводами строятся на типовых элементах унифицированной блочной системы регуляторов УБСР-АИ аналогового действия, объединенных по принципу единства конструкции, вида входных и выходных сигналов, напряжений питания. Элементы УБСР-АИ выполняются в виде двусторонних печатных плат, снабженных штепсельным разъемом, с широким применением полупроводниковых и гибридных интегральных микросхем и являются наименьшими сменными модулями системы управления.

В номенклатуру аналоговых элементов УБСР-АИ входят источники питания, задатчики входных сигналов, датчики регулируемых параметров, усилительные устройства, регуляторы, потенциальные делители, компараторы, функциональные устройства, устройства защиты и коммутации, устройства технологической логики, контролирующие и вспомогательные устройства, т.е. функционально полный набор, обеспечивающий построение систем управления любой структуры.

Номенклатура и основные технические данные аналоговых элементов УБСР-АИ приведены в табл. 7.1.

Особенностью элементной базы ячеек серии ЯФУ является применение ОУ типа К553УД2, логических элементов серии К511, бесконтактных ключей типа К284КН1, оптронов типа К293ЛП1А. Ячейки серии N построены на гибридных интегральных микросхемах (ГИС) типов Р1 и Р5, логических элементах серии К561, сборках полевых транзисторов типа К190КТ2П в качестве бесконтактных коммутаторов, оптронах типа АОД101.

Питание ячеек осуществляется стабилизированным напряжением ± 15 В. Уровни выходных напряжений — до 10 В, сопротивление нагрузки — не менее 2 кОм.

Операционный усилитель типа К552УД2 имеет следующие параметры:

Коэффициент усиления по напряжению, не менее	$2 \cdot 10^4$
Выходное напряжение при $R_{н} 2$ кОм, В	± 10
Входной ток, мкА	До 1,5
Напряжение смещения нуля, приведенное ко входу, мВ, не более	7,5
Ток потребления, мА	6
Полоса пропускания в режиме с единичной отрицательной обратной связью, МГц	До 0,8
Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	0,5

Контакты усилителя имеют следующие назначения: контакт 4 — инвертирующий вход, контакт 5 — неинвертирующий вход, контакт 10 — выход, контакт 11 — питание +15 В, контакт 6 — питание -15 В; между контактами 3 и 12 включается конденсатор емкостью 30 пФ.

Логические элементы серии К511 имеют следующие параметры:

Входное напряжение логического 0, В, не более	6
Входное напряжение логической 1, В, не менее	8
Выходное напряжение логического 0, В, не более	1,5
Выходное напряжение логической 1, В, не менее	13,5
Выходной ток*, мА, не более	12
Ток потребления, мА	15—35
Время задержки, мкс, не более	0 4
Напряжение питания, В	15

* Для микросхем серии К511ЛИ1 — 100 мА.

Микросхема типа К284КН1Б содержит три независимых ключа со схемами управления. Каждый ключ рассчитан на коммутацию двухполярного напряжения ± 10 В при токе 5 мА. Основные параметры ключа:

Сопротивление в проводящем состоянии, Ом	250
Ток утечки в непроводящем состоянии, мкА	0,01
Напряжение управления проводящего ключа, В	2,3—2,5
Напряжение управления непроводящего ключа, В	0—0,4
Ток управления, мА	3
Время переключения, мкс	3
Ток потребления от источника —15 В, мА	До 12

Контакты микросхемы 2, 4, 6 — входы управления, 3—12, 5—10, 7—8 — «контакты» ключей, 9, 11, 13 — источник питания —15 В, 1 — общий.

Микросхема К293ЛП1А — оптронный переключатель-инвертор: входному току $I_{вх}$ около 10 мА соответствует логический 0 на выходе микросхемы при напряжении не более 0,4 В. При $I_{вх}=0$ на выходе появляется логическая 1 с напряжением 2, 4 В. Основные параметры:

Падение напряжения на входном излучающем диоде, В	1,5
Потенциал разделяемых цепей, В	До 100
Время включения, мкс	0,5
Выходной ток, мА	До 20
Напряжение питания, В	5

Контакты микросхемы: 1 — $+U_{вх}$, 2 — $-U_{вх}$, 8 — $U_{вых}$, 14 — $+5$ В, 7 — общая точка.

Гибридные интегральные микросхемы (ГИС) построены на основе бескорпусных усилителей, по своим параметрам близким к ОУ К553УД2. ГИС Р1 предназначена для реализации регулятора положения, ГИС Р5 — универсального регулятора. Ее схема приведена на рис. 7.1.

Логические микросхемы серии К561 построены на основе МОП-структур, отличаются малым потреблением мощности, работают в широком диапазоне изменения напряжения питания (от 3 до 15 В). Ток потребления — до 30 мкА. Выходное напряжение логического 0 0,01 В, а логической 1 14,9 В (при напряжении питания 15 В). Выходные токи не превышают 0,5 мА, а выходные 1 мкА. Время задержки — до 0,5 мкс.

Микросхема К190КТ2П является четырехканальным коммутатором, имеющим в проводящем состоянии сопротивление канала 50—100 Ом,

Таблица 7.1

Наименование и тип элемента	Назначение	Технические данные
Ячейка задатчика интенсивности ЗИ-2АИ	Преобразование ступенчатого изменения входного напряжения в линейно зависимое от времени выходное напряжение	Время развертки 0,5—120 с
Ячейка задатчика интенсивности ЗИ-3АИ	То же	Время развертки 0,5—120 с, значения ускорения и замедления могут различаться
Ячейка задатчика интенсивности Н504	» »	Время развертки 0,5—10 с
Ячейка сельсинного задания скорости СЛЗ-3АИ	Фазочувствительное выпрямление выходного напряжения сельсинного командоаппарата, формирование сигнала задания, ввод блокировок, гальваническое разделение входных и выходных цепей	$U_{\text{вых}} = \pm 10$ В; зона нечувствительности $\pm 2^\circ$
Ячейка задания скорости типа Н213	То же и задание ускорения	$U_{\text{вых}} = \pm 10$ В; максимальное время развертки 2 с
Ячейка фазочувствительного выпрямителя типа Н207	Фазочувствительное выпрямление выходного напряжения сельсинного командоаппарата	$U_{\text{вых}} = \pm 10$ В

Ячейка ступенчатого задания скорости СЗ-6АИ	Формирование напряжения задания скорости в зависимости от положения ступенчатого командоаппарата, ввод блокировок, гальваническое разделение входных и выходных цепей	Три ступени задания с входным преобразователем уровня, $U_{\text{вых}} = \pm 10 \text{ В}$
Ячейка ступенчатого задания скорости типа N523	Формирование напряжения задания скорости в функции логических сигналов	$U_{\text{вых}} = 0 \div 15 \text{ В}$; $U_{\text{вых}} = \pm 10 \text{ В}$; четыре ступени задания
Ячейка датчика напряжения ДН-2АИ	Ввод аналогового сигнала с гальваническим разделением цепей управления и высоковольтных внешних цепей	Коэффициент передачи 0,6—1; полоса пропускания 1,3 кГц; потенциал разделяемых цепей 1000 В; размах высокочастотных пульсаций до 40 мВ
Ячейка датчика тока ДТ-3АИ	Формирование и ввод в систему регулирования аналогового сигнала, пропорционального значению тока, измеряемого с помощью шунта, гальваническое разделение цепей управления и высоковольтных внешних цепей	Коэффициент передачи 53,3—133,3; полоса пропускания 2 кГц; потенциал разделяемых цепей до 1000 В; размах высокочастотных пульсаций до 60 мВ
Ячейка потенциального разделения ПР-3АИ	Гальваническое разделение цепей управления и выходных цепей	$U_{\text{вх}} = \pm 10 \text{ В}$, $\pm 20 \text{ В}$; $U_{\text{вых}} = \pm 10 \text{ В}$; полоса пропускания 1,3 кГц; потенциал разделяемых цепей 120 В
Ячейка гальванического разделения РГ-3АИ	Гальваническое разделение цепей управления и выходных цепей	$U_{\text{вх}} = \pm 10 \text{ В}$; $U_{\text{вых}} = \pm 20 \text{ В}$; сопротивление нагрузки 2 кОм; полоса пропускания 120 Гц; потенциал разделяемых цепей 100 В

Наименование и тип элемента	Назначение	Технические данные
Ячейка гальванической развязки РГ-4АИ	Гальваническое разделение цепей управления и выходных цепей	$U_{вх} = \pm 10$ В; $U_{вых} = \pm 10$ В; сопротивление нагрузки 2 кОм; потенциал разделяемых цепей 250 В; пульсации выходного напряжения 0,1 В
Ячейка ввода дискретных сигналов ВЛ-2АИ	Гальваническое разделение и преобразование уровня входных двухпозиционных сигналов	Число каналов восемь; $U_{вх} = 24$ В, 80 В; $I_{вх} = 10$ мА; выходные сигналы уровня серии К511
Ячейка ввода дискретных сигналов типа N604	То же	Число каналов восемь; $U_{вых} = -3,5$ В при $U_{вх} = 0$; $U_{вых} = 0$ или $U_{вых} = 13,5$ В при $U_{вх} = 55$ В, 10 мА
Ячейка ввода дискретных сигналов № 607	» »	Число каналов восемь; $U_{вых} = 13,5$ В при $U_{вх} = 0$; $U_{вых} = 0$ при $U_{вх} = 55$ В, 10 мА
Ячейка вывода дискретных сигналов УЛ-2АИ	Гальваническое разделение и преобразование уровня выходных двухпозиционных сигналов	Число каналов шесть; входные сигналы на уровне серии К511; $U_{вых} = 24$ В; $I_{вых} = 0,2$ А
Ячейка реле типа N501	Шесть герконных реле	$U_{вх} > 10,5$ В

Ячейка реле типа N501A	Четыре герконных реле	Активный уровень — логический 0 микросхем серии K511
Ячейка регулятора тока РТ-1АИ	ПИ-регулятор тока с внутренним контуром напряжения	Диапазон изменения постоянной времени интегрирования 2—100 мс, коэффициента усиления пропорциональной части 1—50
Ячейка регулятора скорости РС-1АИ	П- и ПИ-регуляторы с широким диапазоном изменения параметров и жестким ограничением выходного напряжения; формирование сигнала ЭДС	Диапазон изменения постоянной времени интегральной части 0,03—0,5 с, коэффициента усиления пропорциональной части 0,5—100; жесткость ограничения 0,5 %
Ячейка регуляторов типа N200	П- и ПИ-регуляторы	Широкий диапазон регулировки параметров путем перепайки сменных резисторов и конденсаторов
Ячейка регулятора положения типа N214	Регулятор положения с нелинейным преобразованием сигнала рассогласования	Число ступеней аппроксимации нелинейности три
Ячейка адаптации типа N210	Специализированная ячейка адаптивного регулятора тока	Постоянная времени электронной модели 5 мс
Ячейка регулятора типа N220	То же, что у ячейки N200	То же, что у ячейки N200
Ячейка операционных усилителей У12-АИ	Набор ОУ для узлов систем управления	Три ОУ с возможностью многоцелевого применения

Наименование и тип элемента	Назначение	Технические данные
Ячейка операционных усилителей типа N004	Набор ОУ для узлов систем управления	Шесть узлов ОУ
Ячейка операционных усилителей типа N003	То же	Три узла ОУ
Ячейка функционального преобразователя ПФ-2АИ	Воспроизведение нелинейных зависимостей	Число отрезков аппроксимации пять; минимальный наклон 0,075; максимальный 13,2; знак второй производной — любой
Ячейка функционального преобразования типа N219	То же	Число отрезков аппроксимации восемь
Ячейка выделения модуля ВМ-2АИ	Выпрямление двухполярного входного сигнала; выделение из двух сигналов большего по абсолютному значению	Коэффициент передачи 1
Ячейка выделения модуля типа N202	Выпрямление двухполярного входного сигнала	Три цепи с коэффициентом передачи 1, один суммирующий ОУ
Ячейка умножения — деления МД-2АИ	Четырехкватдратное перемножение двух напряжений с одновременным делением на третье напряжение	$U_{вхх} = \pm 10 \text{ В}$; $U_{вху} = \pm 10 \text{ В}$; $U_{вхз} = 1 \div 10 \text{ В}$; погрешность умножения 1,5 %; погрешность деления 2 %; полоса пропускания 200 Гц

Ячейка умножения УМ-ЗАИ	Четырехквadrантное перемножение двух напряжений	$U_{вхх} = \pm 10$ В; $U_{вху} = \pm 10$ В; погрешность умножения 1,5 %; полоса пропускания 15 кГц
Ячейка запоминающего устройства ИЗУ	Длительное запоминание входного напряжения, умножение выходной величины на двухполярный сомножитель	$U_{вх} = \pm 10$ В; $U_{вых1} = \pm 10$ В; $U_{вых2} = 0,1 U_{оп} U_{вых1}$; минимальное время развертки в режиме установки начальных значений 3 с, в режиме слежения 30 с; дискретность выходного напряжения 0,1 %
Ячейка нуль-индикаторов ИН-ЗАИ	Сравнение уровней напряжений, формирование логических сигналов	Три канала; $U_{вх} = \pm 10$ В; напряжение срабатывания $U_{сраб} = \pm (0,1 \div 10)$ В
Ячейка нуль-органов типа N311	То же, но без выходной логики	Четыре канала; $U_{сраб} = \pm (0,1 \div 10)$ В
Ячейка нуль-органов типа N301	То же	Два канала; $U_{сраб} = \pm (0,1 \div 10)$ В
Ячейка шунтирования типа N215	Формирование логического сигнала стоянки электропривода для шунтировки регуляторов	Диапазон регулирования зоны нечувствительности 0—0,4 В
Ячейка бесконтактного реле БР-2АИ	Бесконтактная коммутация электрических цепей	Число ключей 12; напряжение срабатывания не менее 8 В; параметры коммутируемой цепи ± 10 В, ± 5 мА
Ячейка защиты от стоянки под током ЗСТ-4АИ	Формирование логического сигнала при превышении входными сигналами установленного уровня в течение заданного времени	$U_{вх} = \pm (0,05 \div 10)$ В; выдержка времени 1—20 с

Наименование и тип элемента	Назначение	Технические данные
Ячейка защиты от перегрузки типа N314	Формирование сигналов отключения электропривода при превышении мгновенным или среднеквадратичным значениями тока якоря допустимых значений	Время задержки 1—200 с
Ячейка памяти ПМ-2АИ	Запоминание логических сигналов, их оптическая индикация	Десять каналов памяти со световой индикацией
Ячейка памяти типа N617	Запоминание логических сигналов	12 каналов
Ячейка управления логическая УР-2АИ	Управление реле нулевой защиты, реле управления контактором и реле форсирования тормоза в системе управления электроприводом	Содержит функциональные логические узлы специального назначения
Ячейка выходных каскадов типа N315	Специализированная ячейка управления электроприводом	—
Ячейка логическая ИИ-1АИ	Построение схем комбинационной логики	Содержит шесть узлов логических функций
Ячейка логическая ИИ-2АИ	То же	Содержит 12 узлов логических функций

Ячейка стабилизаторов ± 15 В СН-4АИ	Питание аналоговых устройств	$U_{вх} = \pm 24 \pm 2,4$ В; $I_n = 0,8$ А по каждому каналу
Ячейка стабилизаторов ± 15 В СН-5АИ	Питание логических микросхем серии К511	$U_{вх} = \pm 24 \pm 2,4$ В; $I_n = 1,6$ А
Ячейка стабилизаторов напряжения СН-6АИ	Питание логических микросхем серии К155	$U_{вх1} = 9 \pm 0,9$ В; $U_{вх2} = 12 \pm 1,2$ В: два канала с параметрами 5 В, 2 А
Ячейка генератора Г-2АИ	Питание узлов напряжением повышенной частоты	Выходное напряжение прямоугольной формы 24 В, частота 1 кГц
Ячейка питания стабилизированным напряжением ± 15 В типа N702	Питание аналоговых и логических элементов системы управления	$U_{вх} = \pm 27 \pm 2,7$ В; $I_n = 1$ А по каждому каналу
Ячейка генератора типа N703	Аналогичное ячейке Г-2АИ	$U_{вых} = 50$ В; $I_{вых} = 0,2$ А; частота 400 Гц
Ячейка фильтров Ф4-АИ	Набор конденсаторов	Девять конденсаторов с возможностью замены
Ячейка контроля типа N0000	Набор светоизлучающих диодов	12 цепей

Примечание. Ячейки серии УБСР-АИ выпускаются ПО ХЭМЗ и применяются в электроприводах серий КТЭУ, большинство этих ячеек изготавливаются также Александрийским электромеханическим заводом. Ячейки типа N изготавливаются ЗПО «Преобразователь» и применяются в электроприводах серии КТЭ и преобразовательных агрегатах серии ТПП1.

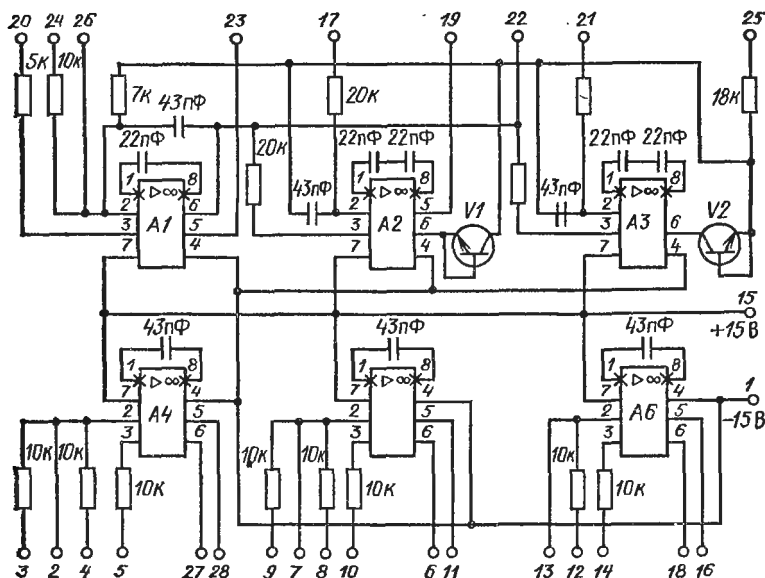


Рис. 7.1. ГИС Р5

ток утечки закрытых каналов 0,05 мкА. Для того чтобы ключ проводил, на затвор нужно подать отрицательное напряжение, превышающее коммутационное на несколько вольт. В микросхеме контакт 1 — подложка, на которую подается положительное напряжение, 3 — источник первой пары ключей, 4 и 14 — стоки этих ключей, 7 — источник второй пары ключей, 6 и 8 — стоки, 13, 12, 11, 9 — соответствующие затворы.

Диодные оптроны АОД101А имеют входной ток 10 мА, падение напряжения на излучающем диоде 1,5 В, запаздывание не более 0,1 мкс, коэффициент передачи по току 0,01, выходное обратное напряжение 15 В.

В связи с большой номенклатурой ячеек и ограниченным объемом книги в этой главе приводятся схемы только основных ячеек управления. Схемы ряда ячеек приведены в [21].

7.2. Задатчики входных величин

В группу задатчиков входных сигналов входят ячейки СЛЗ-3АИ, СЗ-6АИ, N213, ЗИ-2АИ*, ЗИ-3АИ, N504, N207, N523.

Схема ячейки СЛЗ-3АИ изображена на рис. 7.2, а и б. Выходное

* Здесь и далее так отмечены типы ячеек, схемы которых не приведены в данной книге, см. [21].

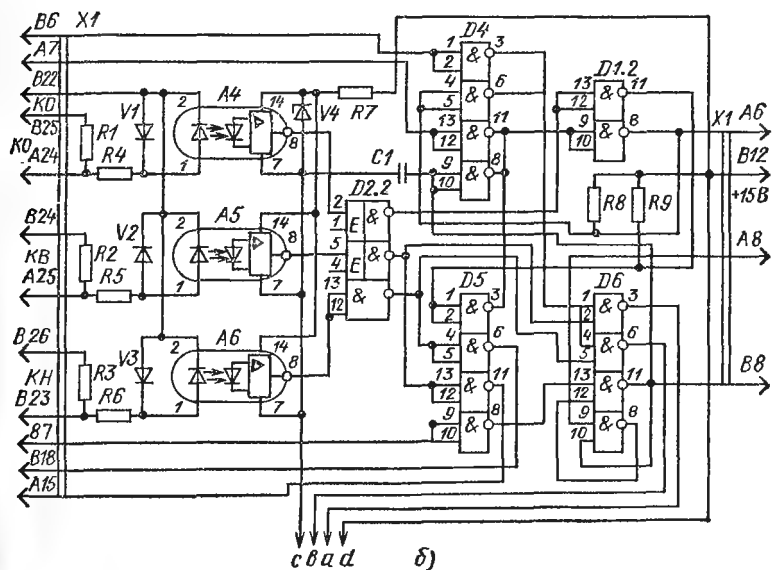
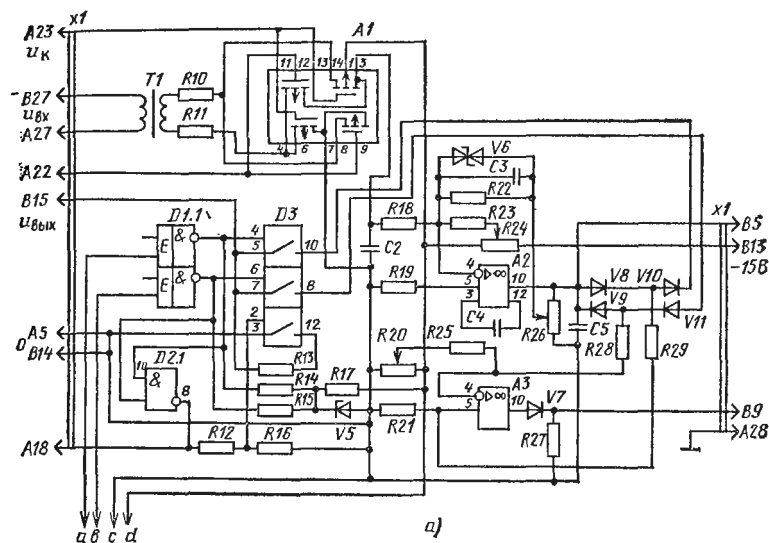


Рис. 7.2. Ячейка СЛЗ-3АИ

напряжение сельсинного командоаппарата подается на контакты $A27$, $B27$ и через ключи $A1$, коммутируемые напряжением u_k , сифазным или противофазным $u_{вх}$, поступает на вход ОУ $A2$. Выходное напряжение $A2$ пропорционально $u_{вх}$ и имеет полярность, зависящую от сифазности или противофазности напряжений $u_{вх}$ и u_k . С помощью диодов $V8—V11$ образуется зона нечувствительности. Нуль-орган, выполненный на ОУ $A3$, формирует логический сигнал $u_{вых} \neq 0$. Выходное напряжение $A2$ в зависимости от полярности поступает на выход ячейки через ключи $5—10$ или $7—8$ микросхемы $D3$.

Логическая часть ячейки (рис. 7.2, б), воздействуя на цепи управления ключами, отключает либо оба, либо один из ключей. Она воспринимает сигналы управления либо на уровне 80 или 24 В (в этом случае сигналы подаются через оптроны $A4—A6$), либо на уровне, соответствующем микросхемам серии К511. Разрыв цепи KO отключает обе полярности $u_{вых}$, а разрыв цепей KB и KH — одну. Имеется триггер, собранный на третьем и четвертом элементах микросхемы $D6$, который запоминает кратковременно действующий входной сигнал (логическая 1) на входе $B7$ и отключает напряжение задания. Для сброса запрета задания нужно подать логический 0 на вход $A8$. Ячейка работает при входном напряжении прямоугольной формы 0—12 В, размах пульсаций выходного напряжения не более 50 мВ, ток потребления от источника 15 В 150 мА, от источника —15 В 40 мА.

Схема ячейки СЗ-6АИ приведена на рис. 7.3, а, б. Выходное напряжение ОУ $A5$ поступает на выход $u_{вых1}$ непосредственно и на выход $u_{вых2}$ через третий ключ микросхемы $D10$. В дальнейшем i -й ключ микросхемы N будет обозначаться $DN.i$, т. е. в данном случае $D10.3$. Полярность выходного напряжения определяется замыканием ключей $D9.1$, $D9.2$, а его значение — сопротивлениями резисторов обратных связей $R26—R28$, подключаемых через ключи $D11$. При отключении ячейки точка $B10$ соединяется с общей точкой схемы через ключ $D10.2$. При нулевом задании выход ОУ $A5$ соединяется с его входом через ключ $D9.3$.

Контакты командоаппарата замыкают входные цепи оптронов $A1—A4$. Напряжение питания этих цепей 24 или 80 В. Замыкание цепи $1B$ формирует первую ступень скорости «вперед», а цепи $1H$ — «назад». Замыкание цепей $2B$, H , $3B$, H одновременно с замыканием цепи $1B$ или $1H$ формирует соответственно вторую и третью ступени скорости «вперед» или «назад». В схеме предусмотрена подача логических сигналов запрета задания скорости обоих направлений KO или одного из двух KB , KH . При использовании этой ячейки вместе с СЛЗ-3АИ эти сигналы вырабатываются в ячейке СЛЗ-3АИ.

Ячейка обеспечивает диапазон изменения напряжения ступеней $\pm(0,01—10)$ В, ток потребления от источника 15 В не более 0,2 А, от источника —15 В не более 30 мА, ток управления оптронами 10 мА.

Схема задатчика интенсивности ЗИ-3АИ отличается от схемы ячейки ЗИ-2АИ* наличием узла, обеспечивающего разные темпы разгона и торможения (рис. 7.4). Задатчик интенсивности выполнен на ОУ $A1$, $A4$. Скорость изменения $u_{вых}$ определяется постоянной времени цепи $R16$, $C7$ и напряжением ограничения выхода ОУ $A1$; ограничение выполнено на ОУ $A2$, $A3$.

Для формирования разных темпов изменения $u_{вых}$ служит нуль-орган $A5$, управляющий ключами $D2.1$, $D2.3$; эти ключи изменяют напряжения сравнения цепей ограничения. Предположим, что на вход $A1$ по-

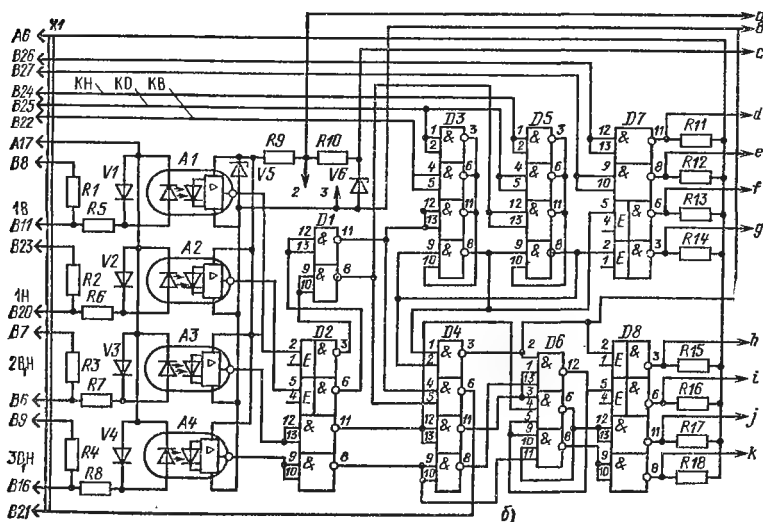
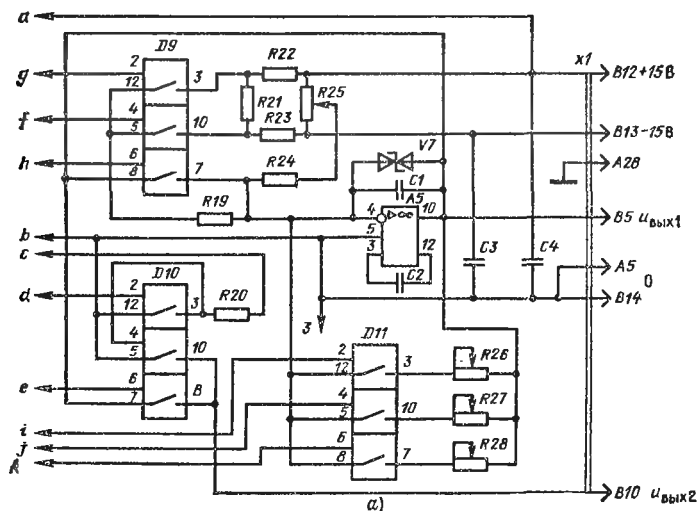


Рис. 7.3. Ячейка СЗ-6АИ

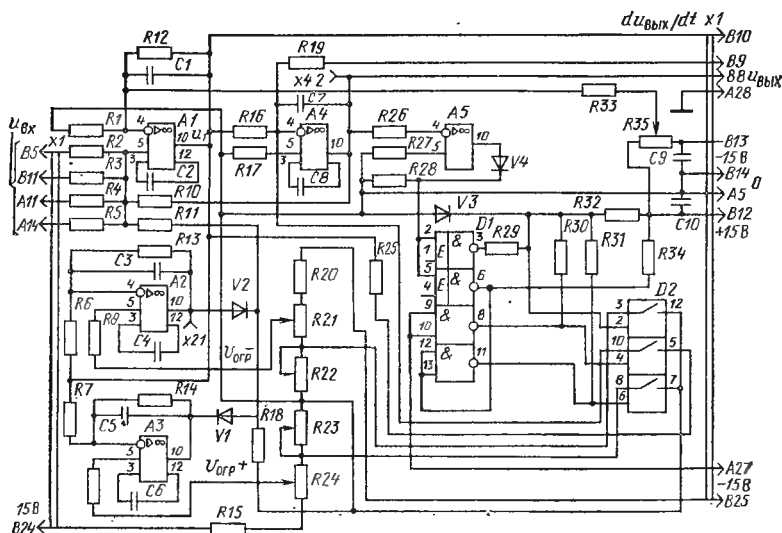


Рис. 7.4. Ячейка ЗИ-3АИ

дано отрицательное напряжение, тогда на выходе $A1$ $u_1 < 0$, $u_{\text{вых}} > 0$ и $du_{\text{вых}}/dt > 0$. На выходе $A5$ логический 0, ключ $D2.1$ замкнут, $D2.3$ разомкнут, $U_{\text{огр}+} > U_{\text{огр}-}$. Так как $u_1 < 0$, то $du_{\text{вых}}/dt$ определяется $U_{\text{огр}-}$. Пусть теперь знак $u_{\text{вх}}$ изменился. Тогда $u_{\text{вх}}$ начинает уменьшаться, оставаясь положительным, $u_1 > 0$, а $du_{\text{вых}}/dt$ теперь больше, чем при разгоне. Когда же в процессе уменьшения $u_{\text{вх}}$ изменит знак, нуль-орган срабатывает, ключ $D2.1$ разомкнется, а $D2.3$ замкнется, теперь $U_{\text{огр}} > U_{\text{огр}+}$, $du_{\text{вых}}/dt$ опять уменьшится и т. д. В схеме ячейки предусмотрена возможность ступенчатого изменения $du_{\text{вых}}/dt$ по логическому сигналу, подаваемому на контакт $A27$.

Ячейка имеет коэффициент передачи 1 при входном сопротивлении 27,1 кОм. Отклонение от линейности 5 %, ток потребления 80 мА.

Упрощенная схема ячейки N213 показана на рис. 7.5. Фазочувствительный выпрямитель $\PhiЧВ$ выполнен по схеме ячейки $\PhiВ-2АИ$ [21]. Ограничитель $ОГР1$ в цепи обратной связи выходного усилителя $\PhiЧВ$ (по схеме аналогичный выполненному на ОУ $A3$, $A4$) определяет максимальный уровень напряжения $u_{\text{вых}}$. В схеме предусмотрена возможность снижения до нуля обеих полярностей $u_{\text{вых}}$ по сигналу $КО$ и одной из полярностей по сигналам $КВ$ или $КН$. На ячейке установлен также задатчик интенсивности, выполненный на ОУ $A2-A6$. Отметим, что в ячейках серии N контакты разъема рядов A и B с одинаковыми номером включены параллельно; на всех схемах для ясности чертежей будут проставлены только контакты ряда A . Ток потребления 70 мА.

Ячейка N207 содержит только часть схемы, изображенной на рис. 7.5, а именно $\PhiЧВ$, $ОГР1$, $A1$ и ключи управления $ОГР1$. Соответствие

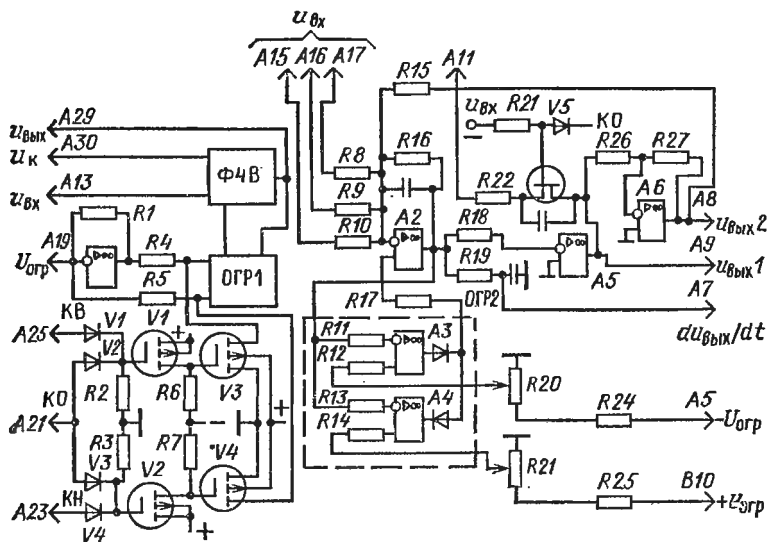


Рис. 7.5. Ячейка N213

между контактами разъема ячейки N213 и такими же по функциям контактами ячейки N207 следующие: A13—A24, A30—A22, A29—A8, A19—A18, A25—A28, A21—A20, A23—A16. Ток потребления 50 мА.

Ячейка ступенчатого задания скорости N523 состоит из суммирующего ОУ, выход которого подключен к контакту A12, восьми ключей и восьми потенциометров; снимаемое с них напряжение коммутируется ключами на входе ОУ. Четыре потенциометра питаются напряжением 15 В и четыре — 15 В. Ключи, подключающие «положительные» потенциометры, выведены на контакты A22, A10, A26, A14, а «отрицательные» — на контакты A24, A28, A30, A8. При подаче на вход логической 1 соответствующий ключ замыкается и подает на выход ОУ установленное потенциометром напряжение. В схеме ячейки отсутствуют гальванические разделители и логика конечных ограничений, как это сделано в ячейке СЗ-6АИ. Ток потребления 50 мА.

Схема ячейки задатчика интенсивности типа N504 изображена на рис. 7.6. Для упрощения рисунка три микросхемы счетчиков D4—D6 типа К561ИЕ11 показаны как один 12-разрядный счетчик. Ячейка является цифро-аналоговой. В ней используется преобразование напряжения U_i в частоту с помощью преобразователя напряжения — частота, выполненного на микросхемах A1, A3; подсчет импульсов производится счетчиком D4—D6; преобразование кода в напряжение осуществляется микросхемами D7, A4. При начальной установке в старший разряд счетчика записывается 1, при этом выходной ток равен половине его максимального значения. Для получения $U_{\text{вых}}=0$ используется напряжение смещения, задаваемое потенциометром R22. Начальная установка вы-

7.3. Ячейки датчиков регулируемых величин, потенциальных разделителей, преобразователей уровня

К данному классу ячеек относятся ячейки ДН-2АИ, ДТ-3АИ, ПР-3АИ, РГ-3АИ, РГ-4АИ*, ВЛ-2АИ, УЛ-2АИ, N501, N501А, N607.

Схема датчика тока ДТ-3АИ приведена на рис. 7.7. Его работа основана на принципе модуляции—трансформирования—усиления переменного напряжения — демодуляции. Модуляция осуществляется частотой 30—40 кГц, формируемой генератором, выполненным на микросхеме А2 и трансформаторе Т1. Модулятор выполнен на ключах А1, А3. Операционный усилитель А4 усиливает трансформированное напряжение, а ОУ А5 осуществляет фазочувствительное выпрямление. Рассматриваемый датчик обеспечивает приведенную погрешность 1 %, температурный дрейф нуля составляет 2,2 мВ/град, а температурный дрейф коэффициента передачи 0,065 %/град, ток потребления 40 мА.

Ячейка датчика напряжения ДН-2АИ отличается от описанной отсутствием ОУ А4. Приведенная погрешность датчика 1 %, температурный дрейф нуля 0,3 мВ/град, температурный дрейф коэффициента передачи 0,05 %/град, ток потребления 40 мА.

Ячейка потенциального разделителя ПР-3АИ выполнена по такой же схеме и имеет такие же параметры, как и ячейка ДН-2АИ, и отличается только конструкцией.

Схема гальванического разделителя РГ-3АИ приведена на рис. 7.8. Он функционирует по принципу модуляции—трансформирования—демодуляции. Модуляция происходит частотой 30—40 кГц, формируемой

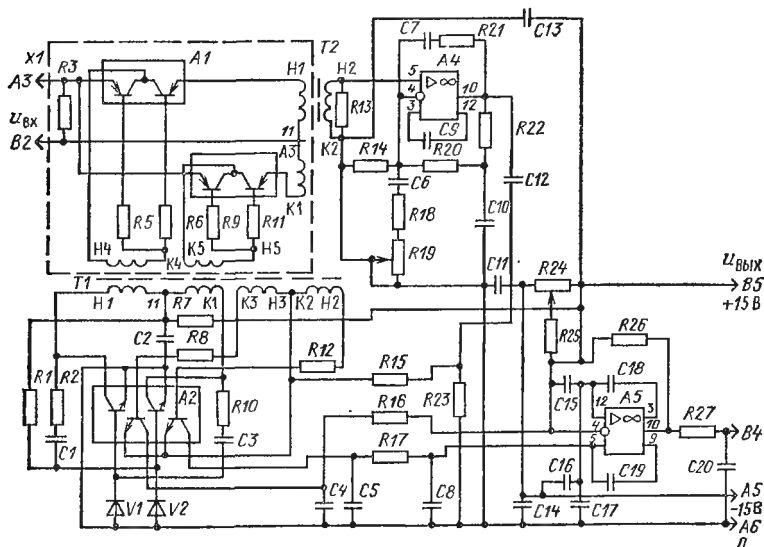


Рис. 7.7. Ячейка ДТ-3АИ

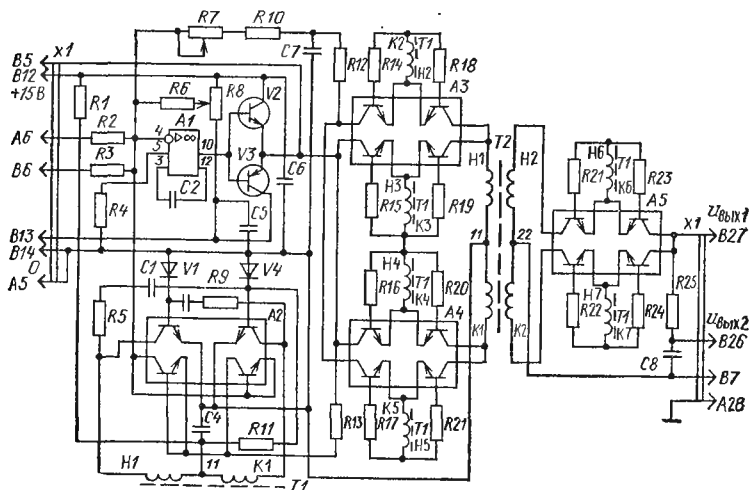


Рис. 7.8. Ячейка РГ-ЗАИ

генератором, собранным на микросхеме $A2$ и трансформаторе $T1$. В схеме предусмотрена возможность суммирования двух входных сигналов или же изменения коэффициента передачи $1:1$ или $1:2$. Для улучшения линейности в схеме имеется обратная связь на вход $A1$ через резисторы $R7$, $R10$. Предусмотрены два выхода: без фильтрации $U_{\text{ВЫХ1}}$ и с фильтром с постоянной времени $0,2$ мс $U_{\text{ВЫХ2}}$. Амплитуда пульсаций на этом выходе не более 50 мВ, ток потребления от источника 15 В 80 мА, от источника — 15 В 45 мА.

Ячейка ввода дискретных сигналов ВЛ-2АИ имеет восемь идентичных каналов, схема одного канала изображена на рис. 7.9, а. Соответствие нумерации контактов остальных каналов нумерации контактов первого канала следующая: $A8-B7$, $A7$, $B6$, $B5$, $B4$, $B3$, $B24$, $B18$, $B20$, $A15$, $A13$; $B16-B17$, $A23$, $A24$, $B15$, $A19$, $A18$, $A14$; $B22-A22$, $B10$, $B21$, $A21$, $A11$, $B11$. При $U_{\text{ВХ}}=24$ В резистор $R1$ необходимо замкнуть. На контакте $B16$ имеется прямой выход, высокий уровень которого совпадает с высоким уровнем $U_{\text{ВХ}}$, а на контакте $B22$ — инверсный. Ток потребления от источника питания 140 мА.

Ячейка ввода N607 имеет восемь каналов; схема одного из них изображена на рис. 7.9, б. Соответствие нумерации контактов остальных каналов нумерации контактов первого канала следующая: $A5-A11$, $A20$, $A29$, $A7$, $A10$, $A23$, $A28$; $A17-A9$, $A21$, $A19$, $A16$, $A12$, $A27$, $A18$. Когда по входной цепи ток не протекает, транзистор $V1$ открыт, и на выходе высокий уровень напряжения. При замыкании входной цепи транзистор закрывается, и на выходе напряжение низкого уровня.

В ячейке ввода N604 (рис. 7.9, в) при отсутствии входного тока транзистор $V1$ закрыт, и напряжение на выходе близко к -15 В. При протекании входного тока выходное напряжение близко к напряжению

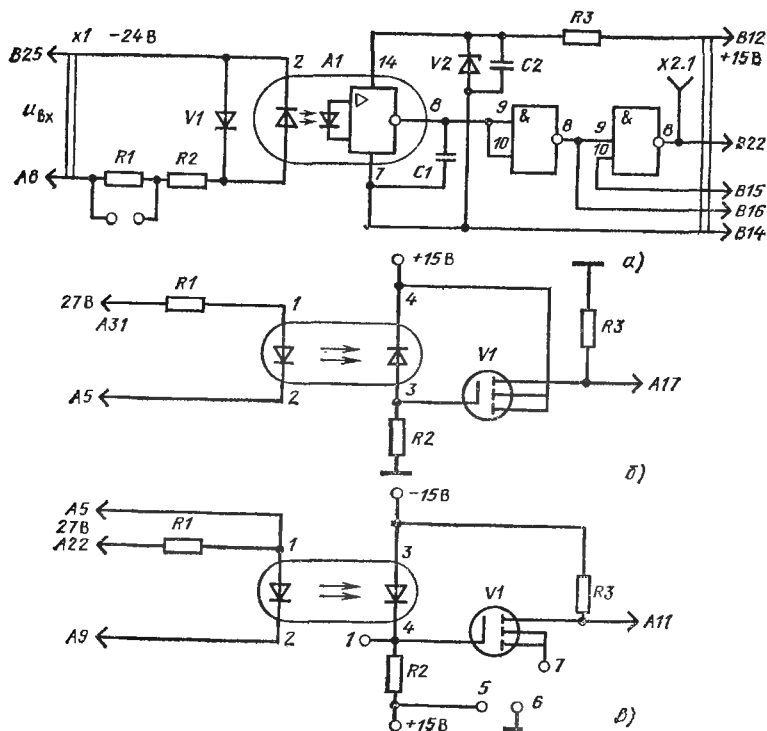


Рис. 7.9. Ячейки ВЛ-2АИ, N607, N604:

а — один канал ячейки ВЛ-2АИ; б — один канал N607; в — один канал ячейки N604

истока транзистора $V1$. Если установлена перемычка 5-7, то оно близко к 15 В, а если установлены перемычки 6-7, 1-6, то оно близко к 0. Соответствие нумерации контактов остальных каналов нумерации контактов первого канала следующая: $A9$ — $A15$, $A21$, $A27$, $A8$, $A14$, $A19$, $A25$; $A11$ — $A16$, $A20$, $B28$, $A7$, $A13$, $A18$, $A24$. Обратим внимание, что контакт $B28$ не соединен с контактом $A28$. Выводы от точки 1 оптрона имеются только в каналах 1, 3, 4 на контакты $A5$, $A17$, $A23$.

Ячейка вывода дискретных сигналов УЛ-2АИ содержит шесть идентичных каналов. Схема одного из них показана на рис. 7.10, а. Соответствие нумерации контактов остальных каналов нумерации контактов первого канала следующая: $B9$ — $B10$, $B5$, $B16$, $B23$, $B19$; $A6$ — $B26$, $A12$, $B25$, $B6$, $B17$; $A11$ — $B11$, $B7$, $B15$, $B24$, $B20$. При подаче логического 0 на один из входов микросхемы $D1$ по входной цепи оптрона $A1$ протекает ток, на его выходе формируется логический 0, что приводит к открыванию транзистора $V2$. На контакте $A6$ появляется напряжение не

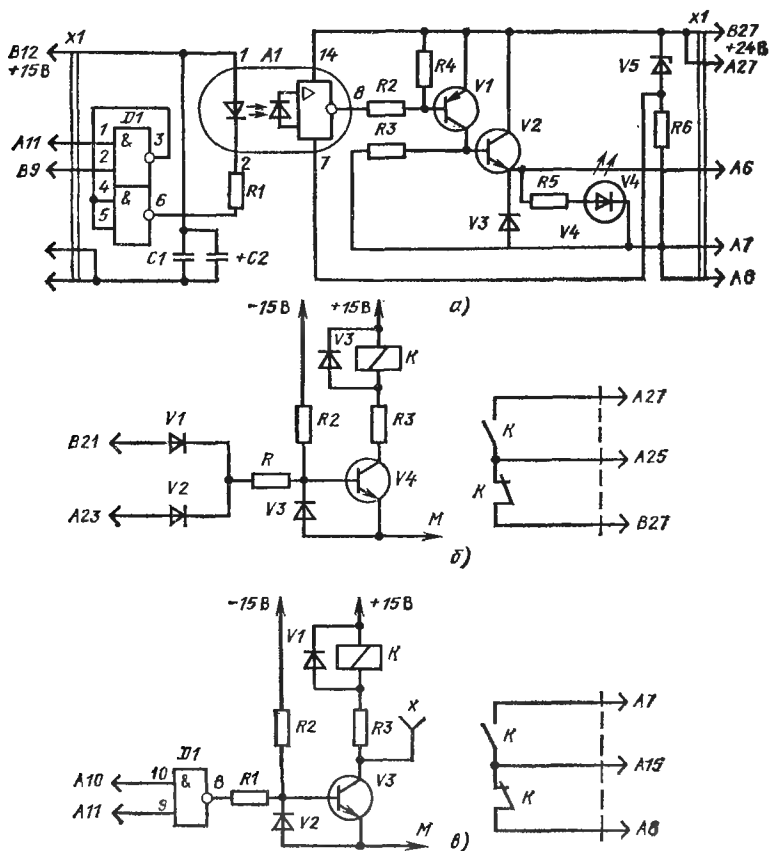


Рис. 7.10. Ячейки УЛ-2АИ, N501, N501А:

а — один канал ячейки УЛ-2АИ; б — один канал ячейки N501; в — один канал ячейки N501А

менее 22 В (при закрытом транзисторе V2 это напряжение не превосходит 3,5 В). Это состояние индицируется светодиодом V4. Потребление от источника 15 В 90 мА. Питание выходных цепей — от изолированно-го источника +24 В.

В ячейках N501 и N501А гальваническое разделение системы управления от выходных цепей осуществляется с помощью герконных реле (рис. 7.10, б, в). В ячейке N501 реле срабатывает при $u_{вх} > 10,5$ В; $u_{вх}$ логического нуля не более 7,5 В. Контакты реле коммутируют напряжение до 100 В при токе до 0,1 А. Ток потребления 250 мА. Задержка включения 3 мс. В ячейке N501А реле срабатывает при подаче логичес-

кого 0 на один из входов микросхемы *D1*. Параметры ячейки аналогичны. Соответствие нумерации контактов остальных каналов нумерации контактов первого канала следующая:

для ячейки N501 — B27—A15, A8, A20, B15, B5; A23—A14, A7, A21, A16, A5; A27—A19; A10, B28, B19, A13; A25—A17, A6, B23, B17, B11; B27—A18, A9, A24, B18, A11;

для ячейки N501A—A11—A27, A22, A14; A10—A26, A23, A13; A7—A28, A24, A18; A15—A29, A19, A16; A8—A30, A21, A17. Обратим внимание, что в этих ячейках контакты разъема с одним номером параллельно не соединены, как в описанных выше ячейках.

7.4. Ячейки регуляторов

К такого рода ячейкам относятся ячейки РТ-1АИ, РС-1АИ, N200, N220, N214, У12-АИ*, N004, N210, N003.

Ячейка РТ-1АИ (рис. 7.11) в электроприводах серии КТЭУ используется в основном в качестве регуляторов тока якоря и тока возбуждения электродвигателя. В схеме ячейки реализован ПИ-регулятор тока с внутренним инерционным контуром напряжения, с узлами регулирования скорости нарастания тока и выбора выпрямительной группы в реверсивных электроприводах. Операционный усилитель *A1* служит фильтром в цепи обратной связи по напряжению. Регулирование постоянной времени фильтра осуществляется резистором *R28*, коэффициент переда-

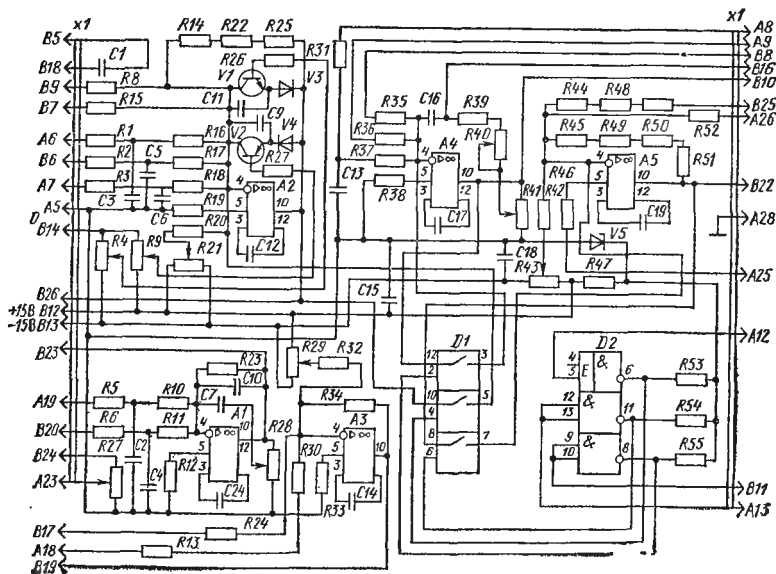


Рис. 7.11. Ячейка РТ-1АИ

чи ОУ $A1$ равен 1. Операционный усилитель $A2$ формирует сигнал регулятора в зависимости от заданного и фактического значений регулируемой величины и ограничивает скорость нарастания тока, значение которого определяется коэффициентом усиления $A2$ и напряжениями ограничения, настраиваемыми резисторами $R4$, $R9$. Коэффициент усиления ОУ $A2$ выбирается резисторами $R14$, $R22$, $R25$, для закорачивания которых на плате предусмотрены специальные контакты; коэффициент усиления может быть равным 0,5; 1 и 2.

Собственно регулятор тока реализован на ОУ $A4$. Постоянная времени интегрирования настраивается потенциометром $R41$, а пропорциональная часть регулятора — резистором $R40$ и сменой резистора $R39$. Номинальные данные резисторов и конденсаторов, определяющих передаточную функцию регулятора, следующие: $R_{35}=62$ кОм, $R_{36}=2,4$ кОм, $R_{31}=R_{37}=51$ кОм, $R_{39}=75$ кОм, $R_{40}=33$ кОм, $R_{41}=6,8$ кОм, $C_{13}=0,047$ мкФ, $C_{16}=1$ мкФ.

На ОУ $A5$ реализован регулятор напряжения. Его коэффициент усиления настраивается сменными резисторами R_{45} , R_{49} , R_{50} . Установлены резисторы $R_{44}=R_{48}=4,7$ кОм, $R_{52}=10$ кОм, $R_{45}=10$ кОм, $R_{49}=47$ кОм, $R_{50}=100$ кОм, $R_{51}=150$ кОм.

Операционный усилитель $A3$, имеющий коэффициент усиления 10, может быть использован для усиления сигнала задания тока на входе СИФУ, управляющего переключением групп реверсивного ТП. Бесконтактные ключи $D1$ закорачивают вход-выход ОУ — $A2$, $A4$, $A5$. Емкость добавочного конденсатора $C1$ равна 4,7 мкФ, а сопротивление резистора $R_7=10$ кОм. Ток потребления от источника 15 В 50 мА, от источника — 15 В 30 мА.

Ячейка РС-1АИ (рис. 7.12) используется в качестве регулятора скорости, регулятора ЭДС в зависимой системе управления полей двигателя, а также в ряде других узлов. В схеме ячейки реализован ПИ- или П-регулятор с жестким ограничением выходного сигнала и измеритель ЭДС двигателя. Операционный усилитель $A1$ формирует и усиливает сигнал разности между заданным и фактическим значениями регулируемой величины. Коэффициент усиления настраивается резистором $R24$, а также нерегулируемыми резисторами $R18$, $R25$, $R30$, $R31$, для закорачивания которых на плате имеются контакты. Номинальные значения резисторов: $R_1=R_5=R_9=R_{13}=5,1$ кОм, $R_{18}=10$ кОм, $R_{25}=100$ кОм, $R_{30}=27$ кОм, $R_{31}=51$ кОм, $R_{24}=6,8$ кОм.

При работе ячейки в режиме П-регулятора с выходом ОУ $A5$ соединяется резистор R_{44} , а в режиме ПИ-регулятора — конденсаторы $C15$ и (или) $C16$. Постоянная времени или коэффициент усиления настраиваются резистором $R41$. В режиме П-регулятора коэффициент усиления ОУ $A5$ равен $1+R_{44}/(R_{41}+R_{42})$, а в режиме ПИ-регулятора передаточная функция ОУ $A5$ равна $(1+T_3p)/(T_3p)$, где $T_3=(C_{15}+C_{16})/(R_{41}+R_{42})$. Установлены элементы $R_{41}=22$ кОм, $R_{42}=30$ кОм, $R_{44}=30$ кОм, $C_{15}=1$ мкФ, $C_{16}=10$ мкФ.

Операционные усилители $A3$, $A4$ образуют схему жесткого ограничения выходного напряжения регулятора. Уровни ограничения регулируются потенциометрами $R29$, $R34$. На ОУ $A2$ может быть выполнена схема измерения ЭДС (коэффициент передачи по входам $A18$, $B17$ равен 1). Бесконтактные ключи $D2.1$, $D2.2$ закорачивают вход-выход ОУ $A1$, $A5$ в режиме стоянки электропривода, ключ $D1.3$ может быть ис-

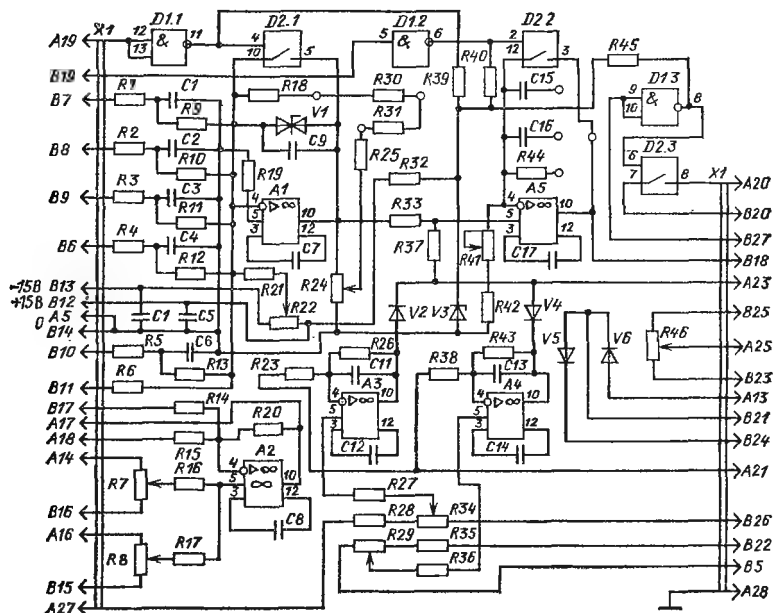


Рис. 7.12. Ячейка РС-1АИ

пользован в других схемах. Ток потребления от источника 15 В 70 мА, от источника — 15 В 40 мА.

Ячейка регулятора N200 выполнена на основе двух ГИС типа Р5, которые образуют ПИ-регулятор с ключом в цепи его обратной связи, задатчик интенсивности с тремя входами и два сумматора. Ток потребления 80 мА.

Ячейка адаптации N210 является узкоспециализированной ячейкой регулятора тока якоря электродвигателя с адаптацией в режиме прерывистого тока и применяется в электроприводах серии КТЭ. Принцип адаптации описан в разд. 3 (см. рис. 3.5). Ток потребления 40 мА.

На рис. 7.13 изображена схема ячейки регулятора N220. Она выполнена на одной ГИС типа Р5 и двух ОУ А1, А2. На одной части ГИС (Р5.1) выполнен ПИ-регулятор, в цепи обратной связи которого установлены конденсатор $C_1 = 0,1$ мкФ и резистор $R_{18} = 510$ кОм с возможностью их замены. Входные резисторы $R_3 - R_6$ равны 5,1 кОм (с возможностью их смены), $R_{11} - R_{14} = 10$ кОм. Ключи в цепи обратной связи регулятора служат для его шунтирования и расшунтирования в различных режимах. На контакт А18 поступает напряжение ограничения $U_{огр1}$, которое можно отключать подачей логического сигнала на контакт А15, при этом выход регулятора близок к 0. Вторая часть ГИС (Р5.2) образует задатчик интенсивности и ПИ-регулятор.

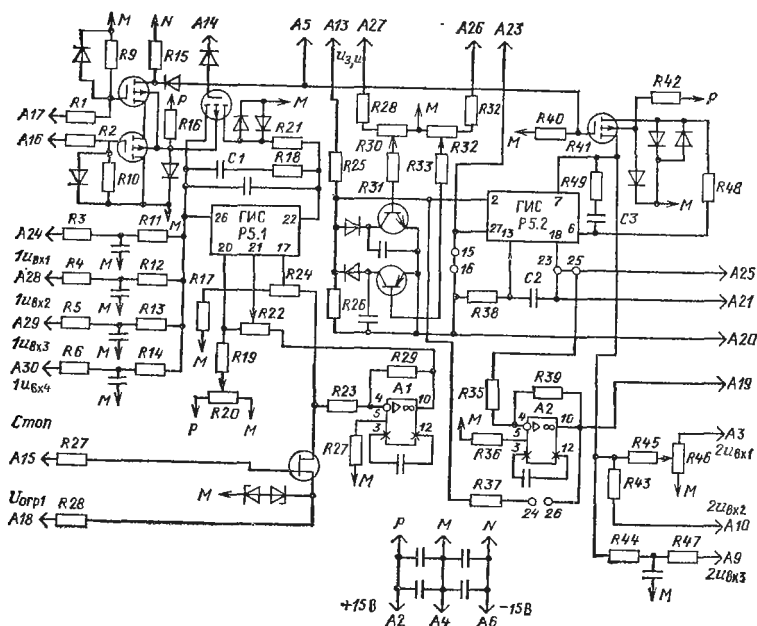


Рис. 7.13. Ячейка N220

Входное напряжение поступает на контакт A13. На контактах A20, A23 формируется напряжение, пропорциональное ускорению, на контактах A21, A25 — выходное напряжение с полярностью, совпадающей с $u_{3,и}$, а на контакте A19 — напряжение противоположной полярности. Пропорционально-интегральный регулятор имеет параметры: обратной связи $C_3=1$ мкФ, $R_{49}=51$ кОм (с возможностью замены), входных цепей $R_{45}=20$ кОм, $R_{43}=100$ кОм, $R_{44}=51$ кОм, $R_{47}=51$ кОм. Ток потребления ячейки 50 мА.

Ячейка регулятора положения типа N214 содержит функциональный преобразователь $u_{вых}=k\sqrt{u_{вх}}$. Напряжение $u_{вх}$ подается на контакт разъема A17, а напряжение $u_{вых}$ снимается с контакта A15. Кроме того, в нее входят суммирующий усилитель, одно из входных напряжений которого подается на контакты A12 или A8 (во втором случае входное сопротивление ОУ в 3,14 раза меньше, чем в первом), а второе — на контакт A10, и собственно регулятор положения типа ПИ с четырьмя входными резисторами, выведенными на контакты A11, A14, A19, A20. Выходной сигнал регулятора выведен на контакт A22.

Для отключения регулятора в цепи его обратной связи установлен ключ. На ячейке размещен также нуль-орган, выполненный на ОУ, ко-

торый может использоваться для отключения регулятора после окончания отработки рассогласования. Ток потребления 50 мА.

Ячейки У12-АИ* и N004 содержат ОУ многофункционального назначения. На ячейке У12-АИ установлены три ОУ типа К553УД2. Первый ОУ имеет шесть резисторных входов, узел регулируемого ограничения выходного напряжения ОУ, конденсаторы в цепи обратной связи, а также выходной эмиттерный повторитель, позволяющий получить ток нагрузки 20 мА. Второй ОУ имеет пять резисторных входов, конденсатор в цепи обратной связи. В цепях обратных связей обоих усилителей установлены бесконтактные ключи. Третий ОУ имеет три резисторных входа. На ячейке установлены два потенциометра и два диода, которые могут использоваться для расширения функциональных возможностей ячейки. Ток потребления ячейки 100 мА.

Ячейка операционных усилителей N004 выполнена на основе двух ГИС типа Р5. Она состоит из шести усилительных узлов и узла выделения модуля. Назначение усилительных узлов следующее. Первый узел — сумматор с коэффициентом передачи по каждому входу 0,5. На его выходе включено устройство выделения модуля. Второй узел — инвертор. Третий узел — интегратор с ограничителями в цепи обратной связи. Напряжение ограничения задается потенциометрами. Входное сопротивление узла 10 кОм, емкость конденсатора 0,5 мкФ. Четвертый узел — сумматор с коэффициентом передачи по каждому каналу 1 и с инвертором на выходе. Пятый узел — сумматор-ограничитель; напряжения ограничения в нем устанавливаются потенциометрами. Коэф-

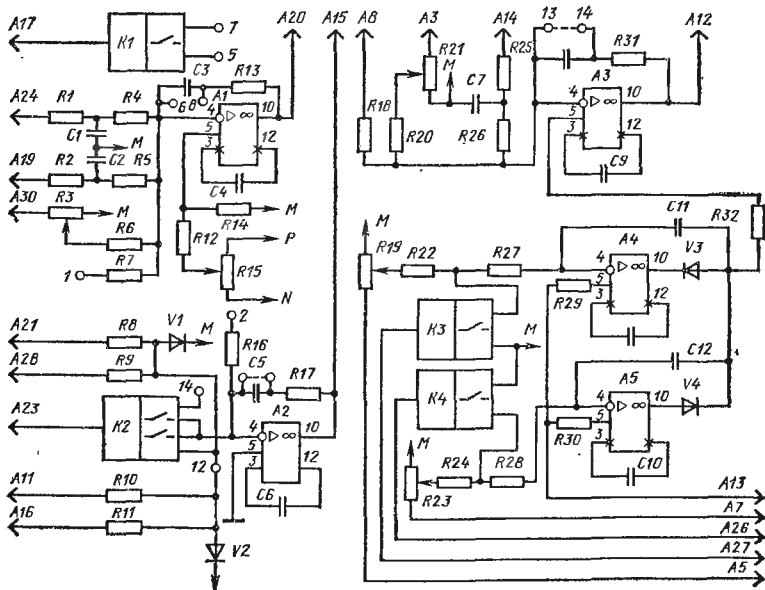


Рис. 7.14. Ячейка N003

коэффициент передачи по входам $5u_{вх1}$ и $5u_{вх2}$ равен 1; входное напряжение $5u_{вх3}$ подается на инвертирующий вход усилителя. Шестой узел — ПИ-регулятор, все входные сопротивления равны 10 кОм, сопротивление в цепи обратной связи 510 кОм, емкость конденсатора 0,5 мкФ. Ток потребления ячейки 50 мА.

Ячейка операционных усилителей N003 в отличие от предыдущей выполнена на основе ОУ К553УД2. В ячейке ключи выполнены на двух каналах микросхемы К190КТ2П. На рис. 7.14 ключи условно обозначены как $K1—K4$. Ячейка содержит три ПИ- или П-схемы, выполненные на ОУ. Операционный усилитель $A3$ имеет узел жесткого ограничения, построенный на ОУ $A4$, $A5$, с возможностью установки нулевых значений напряжения ограничения с помощью ключей $K3$, $K4$. Ключ $K1$ может быть использован для закорачивания обратной связи ОУ $A1$ при установке переключателей 7-6, 5-8. Ключ $K2$ включен на входе ОУ $A2$. Параметры прямых и обратных связей могут изменяться в широких пределах путем замены резисторов и конденсаторов. На ячейке установлены резисторы $R_1=R_2=R_4=R_5=R_{25}=R_{26}=27$ кОм, $R_6=R_{21}=10$ кОм, $R_7=R_9=22$ кОм, $R_8=R_{11}=R_{12}=R_{17}=R_{28}=R_{35}=51$ кОм, конденсаторы емкостью $C_1=C_2=C_3=C_5=C_7=C_8=0,47$ мкФ. Ток потребления 50 мА.

7.5. Вычислительные устройства

К вычислительным устройствам относятся ячейки функционального преобразователя ПФ-2АИ*, выделения модуля ВМ-2АИ*, умножения — деления МД-2АИ*, умножения УМ-3АИ*, запоминающего устройства ИЗУ.

Ячейка ПФ-2АИ* состоит из двух диодных нелинейных преобразователей (НП), один из которых функционирует при $u_{вх} > 0$, а другой — при $u_{вх} < 0$, и суммирующего ОУ. Каждый из преобразователей содержит пять участков аппроксимации. При включении НП на входе ОУ кривая напряжения на выходе ОУ имеет положительную вторую производную, а при включении НП в цепи обратной связи ОУ — отрицательную. Характеристики можно смещать вверх и вниз по оси ординат. Ток потребления 30 мА.

Ячейка ВМ-2АИ* состоит из усилителей с диодами, преобразующими знакопеременное напряжение в равное ему по модулю однополярное напряжение. Путем переключения диодов полярность выходного напряжения может быть выбрана любой. Температурный дрейф нуля входного напряжения 1 мВ/град, ток потребления 35 мА.

Ячейка МД-2АИ* реализует соотношение $u_{вых} = 0,1 u_x u_y / u_z$. Полярности u_x и u_y могут быть любыми, полярность u_z не должна изменяться, однако при наладке ячейки эта полярность может быть выбрана любая. В ячейке формируется прямоугольное напряжение, которое модулируется по амплитуде напряжением u_y , а по длительности напряжением u_x . Деление на u_z осуществляется изменением коэффициента усиления в канале формирования по длительности под действием напряжения u_z . На выходе прямоугольное напряжение усредняется, при этом размах выходных пульсаций 150 мВ, температурный дрейф нуля 15 мВ/град, ток потребления 30 мА.

Ячейка УМ-3АИ* реализует соотношение $u_{вых} = 0,1 u_x u_y$ использованием равенства

$$u_{вых} = 0,1 [(u_x + u_y)/2]^2 - 0,1 [(u_x - u_y)/2]^2.$$

Для получения квадратичных зависимостей используются нелинейные диодные преобразователи. Ток потребления ячейки 50 мА.

Схема ячейки интегрозапоминающего устройства (ИЗУ) изображена на рис. 7.15. Принцип действия ИЗУ основан на подсчете числа импульсов, действующих на входе счетчиков в течение времени, когда входной сигнал отличен от нуля, и преобразовании сформированного кода в напряжение. Генератор частоты построен на микросхеме А6 типа К1006ВИ1. Импульсы этой частоты через микросхемы D3—D5 поступают на входы сложения или вычитания микросхем D6—D8, включенных по схеме 12-разрядного реверсивного счетчика. Направление счета определяется состоянием нуль-органов A3, один из которых срабатывает при $u_{\text{вх}} > U_0$, а второй — при $u_{\text{вх}} < -U_0$, где значения U_0 регулируются резисторами R12, R16 и обычно устанавливаются равными 10—30 мВ, и, кроме того, состоянием входов микросхем D3, D4. Код, сформированный в счетчике, подается на две микросхемы преобразователя код — напряжение D9, D10 типа КР572ПА1. На выходах ОУ A4.1, A4.2 (типа К157УД2 — два ОУ в одном корпусе) образуются напряжения, пропорциональные произведению кода C4 на напряжение $U_{\text{оп}}$ полярности, обратной по отношению к $U_{\text{оп}}$. Для микросхемы D9 $U_{\text{оп}}$ постоянно, а для микросхемы D10 оно может задаваться из других схем. Защита схемы от переполнения осуществляется нуль-органами A5.1, A5.2 типа КР597СА3. При срабатывании нуль-органов прекращается счет импульсов в соответствующем направлении. Кроме того, при обнулении счетчиков формируется сигнал p, который, воздействуя на вход параллельной записи C, заносит в C4 единичный код, тем самым препятствуя опрокидыванию счетчика.

Ячейка может работать в нескольких режимах.

а) Режим установки начальных значений. Можно задавать три различных напряжения $u_{\text{н}} > 0$, при этом на соответствующий контакт A7—B9 задается логический 0, и ключ замыкается. Одновременно логический 0 на выходе микросхемы D2.1 замыкает ключ A1.4, вход которого — контакт B7 — нужно соединить с выходом A4.1 — контактом B20, тем самым замыкается цепь обратной связи. Кроме того, выходной сигнал микросхемы D2.1 разрешает работу генератора A6 через микросхему D5.1 и устанавливает логическую 1 на выходе микросхемы D1.1. Прохождение импульсов f при этом разрешается через микросхему D3.1 на суммирующий вход счетчика и микросхему D4.2 на вычитающий вход, причем на выходе нуль-органа A3.1 логическая 1 при $u_{\text{н}} > u_{\text{вых}}$, а на выходе A3.2 — при $u_{\text{н}} < |u_{\text{вых}}|$. После окончания отработки $u_{\text{вых1}} = u_{\text{н}}$, $u_{\text{вых2}} = 0,1u_{\text{н}}u_{\text{оп2}}$. Так как ключ A2.2 в этом режиме замкнут логическим 0 на выходе микросхемы D2.1, то постоянная времени генератора уменьшается таким образом, что время заполнения счетчика составляет 3 с (частота около 1300 Гц).

б) Режим слежения за входным напряжением $u_{\text{вх}}$. При этом необходимо подать логический нуль на контакты B17, A11. При снятии логического нуля с контакта A11 процесс отслеживания прекращается, так как перестает работать генератор A6. Работа схемы протекает, как и при установке начальных значений.

в) Режим регулятора автокомпенсационной схемы. В этом случае напряжение $u_{\text{вх}}$ равно погрешности компенсации, на вход B17 должен быть подан логический 0. Напряжение $u_{\text{вых1}}$ или $u_{\text{вых2}}$ подается на исполнительный орган автокомпенсационной схемы.

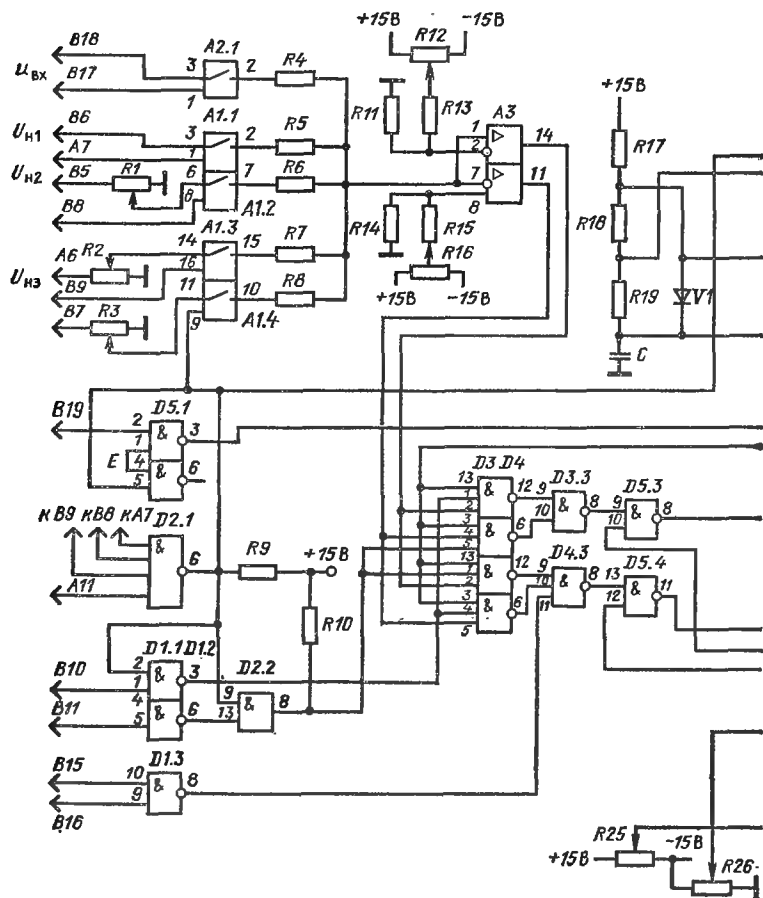
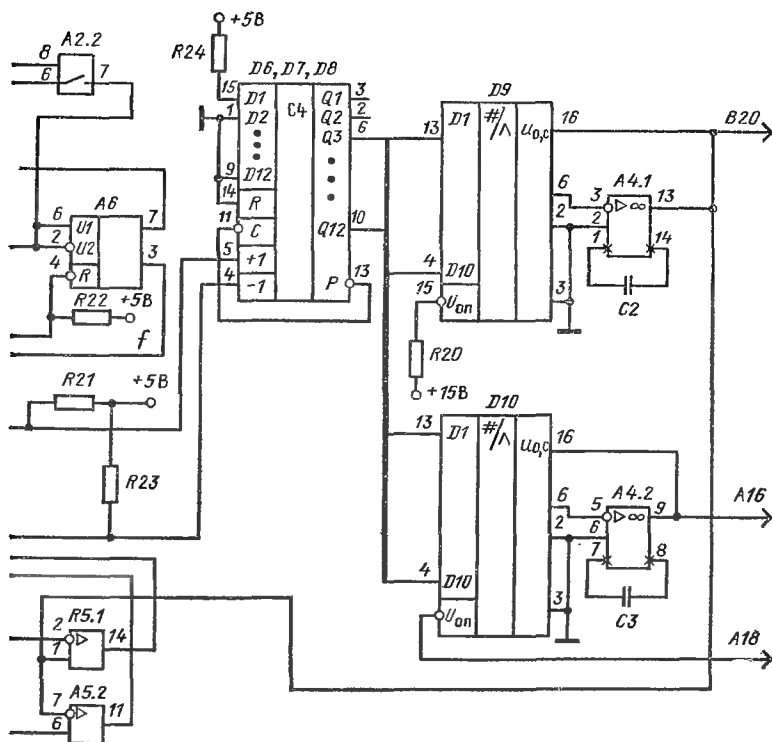


Рис. 7.15. Ячейка ИЗУ

На контакт $B9$ подается логический 0, разрешающий работу генератора $A6$. Ключ $A2.2$ разомкнут, и частота импульсов около 130 Гц. Если погрешность компенсации близка к 0, то нуль-орган $A3$, выдавая логические 0, запрещает прохождение импульсов на входы счетчика. Если ошибка компенсации не равна 0, то в зависимости от ее знака срабатывает один из нуль-органов, при этом направление прохождения импульсов определяется логическими сигналами, подаваемыми на контакты $B10$, $B11$. Пусть, например, $\varepsilon = u_{BX} > 0$, тогда срабатывает нуль-орган $A3.1$, формируя логическую 1 на входах микросхем $D3.1$, $D4.1$. Если



логический 0 подан на контакт $B10$, то импульсы через микросхемы $D3.1$, $D3.3$, $D5.3$ поступают на суммирующий вход счетчика; если же логический нуль подан на контакт $B11$, то импульсы будут поступать на вычитающий вход счетчика.

г) Режим запоминания. При подаче сигналов логической единицы на контакты $A7$, $B8$, $B9$, $A11$, $B19$ генерация прекращается, и счетчики сохраняют ранее выработанный код.

д) Вычитание внешних импульсов, подаваемых на один из контактов $B15$, $B16$ из содержимого счетчика; на второй контакт подается раз-

решающий логический сигнал (1). На контакты $B10$, $B11$ подаются логические единицы.

Питание ячейки осуществляется напряжением ± 15 В. Необходимое для питания микросхем счетчиков напряжение $+5$ В вырабатывается при помощи стабилитрона, установленного на ячейке, или же подается извне. Ток потребления от источника 15 В $0,2$ А ($0,42$ А в том случае, если для питания цепей 5 В используется внутренний стабилитрон), ток потребления от источника — 15 В $0,05$ А.

7.6. Ячейки бесконтактного управления

К такого типа ячейкам относятся ИН-3АИ* ЗСТ-4АИ, БР-2АИ, ИИ-1АИ, ИИ-2АИ, ПМ-2АИ, УР-2АИ, N314, N617, N315, N311, N215.

Ячейка ИН-3АИ* содержит три компаратора, каждый из которых допускает работу от двухполярного сигнала и срабатывает при $u_{вх} > u_{01}$ или при $-u_{вх} < -u_{02}$, т. е. напряжение срабатывания для каждой полярности устанавливается независимо в пределах $0,1$ — 10 В.

Чувствительность компаратора около 30 мВ. С помощью конденсаторов в цепи обратной связи нуль-органов возможно вводить задержку на срабатывание около 3 — 7 мс. Каждый нуль-орган имеет прямой и инверсный выходы, причем логический 0 на инверсном выходе образуется только при наличии логического 0 на входе разрешения. На ячейке установлена логическая схема, реализующая логическую функцию ИЛИ над выходами нуль-органов, а также микросхема типа K284КН1 бесконтактных ключей с преобразователем уровня K511ПУ2 для сигналов управления ключами, которую возможно использовать для расширения функциональных возможностей ячейки. Ток потребления от источника 15 В 100 мА, — 15 В 40 мА.

Ячейка нуль-органов N311 имеет три идентичных канала для двухполярного входного напряжения и один канал с однополярным нуль-органом. На рис. 7.16 показан только один из трех каналов первого типа и канал второго типа. Нумерация остальных контактов входа $A14$, $A22$, выхода $A18$, $A28$. Постоянные времени входных и выходных фильтров равны 1 — $1,5$ мс. Ток потребления 30 мА.

Схема ячейки БР-2АИ приведена на рис. 7.17. Она состоит из ключей типа K284КН1, на входах управления которыми установлены микросхемы преобразователей уровня типа K511ПУ1. При рассмотрении схемы следует иметь в виду, что ключ проводит ток, когда на его управляющий вход подана логическая 1 . Таким образом, ключи, управляемые по входам $A21$, $B21$, $A26$, $B26$, «размыкаются» при подаче логической 1 , управляемые по входам $B16$, $A20$, $A16$, $B20$, «замыкаются», а работа остальных четырех ключей определяется устанавливаемыми на ячейке перемычками 1 — 12 . Сопротивление ключа в открытом состоянии 250 Ом, ток утечки в закрытом состоянии не более $0,5$ мкА, ток потребления от источника 15 В 100 мА, — 15 В 40 мА.

Ячейка шунтирования N215 является специализированным нуль-органом, вырабатывающим логический сигнал стоянки для шунтировки регуляторов. Она состоит из двух двухполярных нуль-органов, на входы которых подаются напряжения, пропорциональные заданной и фактической скоростям вращения двигателя, и третьего нуль-органа с диодной схемой выделения модуля на входе, на который подается выход релей-

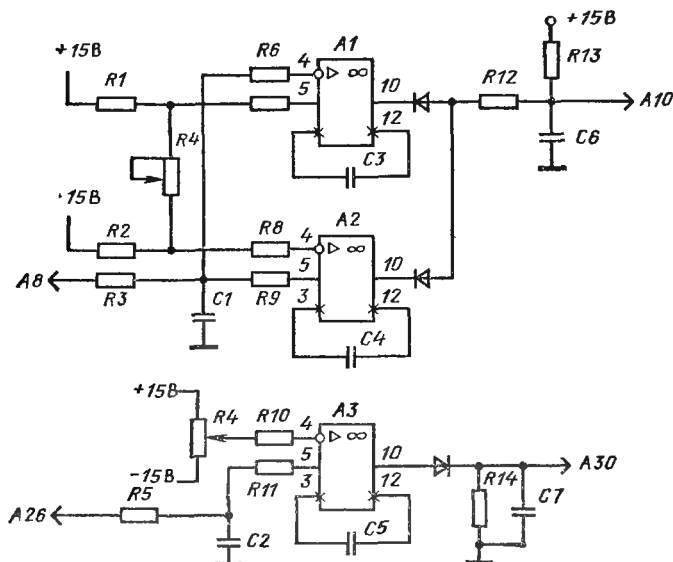


Рис. 7.16. Ячейка N311

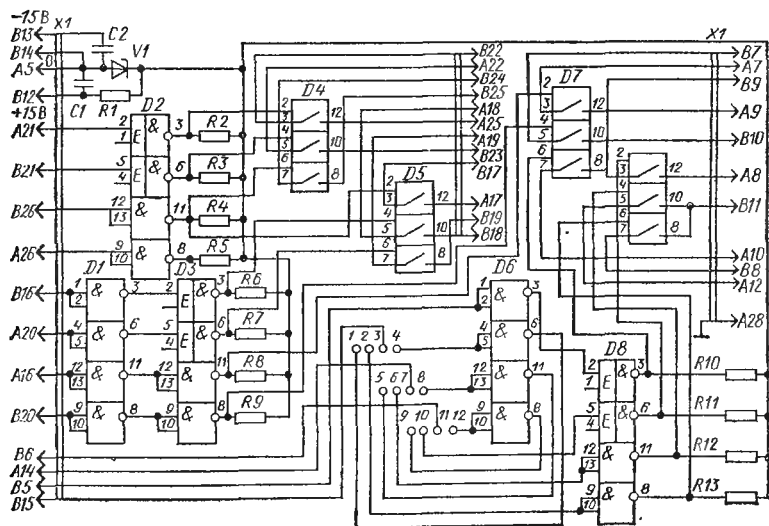


Рис. 7.17. Ячейка БР-2АИ

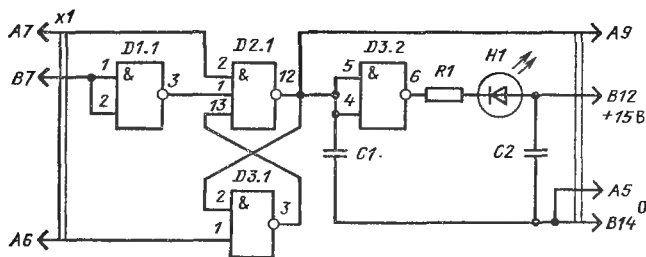


Рис. 7.19. Один канал ячейки памяти ПМ-2АИ

цепочка из интегратора *И2*, компаратора *НОЗ* и ключа *К2* служит для отсчета времени стоянки под током; ключ *К2* размыкается, и начинается процесс интегрирования постоянного напряжения, задаваемого резистором *R4*, когда на выходе элемента *D1* имеется логический 0. На контакт *A16* подается логический сигнал, принимающий значение 1, когда ЭДС двигателя равна 0. Таким образом, на выходе *D1* логический 0, когда есть ток якоря и нет ЭДС, т. е. существует режим упора. Ток потребления ячейки 50 мА.

Ячейка памяти ПМ-2АИ содержит 10 одинаковых каналов, схема одного из них показана на рис. 7.19. Триггер, образованный микросхемами *D2.1*, *D3.1*, взводится при подаче логического 0 на контакт *A7* или логической 1 на контакт *B7*, при этом загорается светоизлучающий диод *И1*, а на контакте *A9* — логическая 1.

Для сброса триггера необходимо подать логический 0 на контакт *A6*. Соответствие нумерации контактов остальных каналов нумерации первого канала следующая: *A7—B10*, *B5*, *A13*, *A19*, *B19*, *B21*, *B25* — три канала; *B7—B9*, *A8*, *B8*, *B15*, *B17*, *B16*, *A18*, *B23*, *A25*; *A6—B5*, *B11*, *A12*, *B24*, *B21*, *A16*, *A17* — три канала; *A9—A11*, *A10*, *B18*, *A20*, *B20*, *A23*, *B26*, *A24*, *A26*. Ток потребления ячейки 170 мА.

Ячейка памяти *N617* содержит 12 пар *RS*-триггеров типа *K561ТР2* (рис. 7.20). Особенностью этого триггера является наличие узла управления выдачей выходных сигналов по сигналу логической 1, подаваемой на вход *V*. На входе *V* первой ступени нормально действует логическая 1. На нем появляется логический 0, когда хотя бы на одном выходе второй ступени появится логическая 1. Появляющиеся вслед за первым последующие аварийные сигналы запоминаются на триггерах первой ступени, но не передаются на вторую, так как на всех выходах первой ступени будут логические 0. Если теперь на вход *V* второй ступени подать логический 0, то на входе первой ступени вновь появится логическая 1. На выходах триггеров первой ступени, которые сработали от аварийных сигналов, появятся логические 1, которые запоминаются в триггерах второй ступени. После подачи логической 1 на вход *V* второй ступени на выходах соответствующих триггеров появятся логические 1.

В схеме ячейки (рис. 7.20) обнуление триггеров осуществляется нажатием кнопки *Сброс*, а подача логического 0 на триггеры второй ступени — нажатием кнопки *С3 Опрос*. При этом благодаря фильтру *C2R6* на входе микросхемы *D4.1* кратковременно удерживается логи-

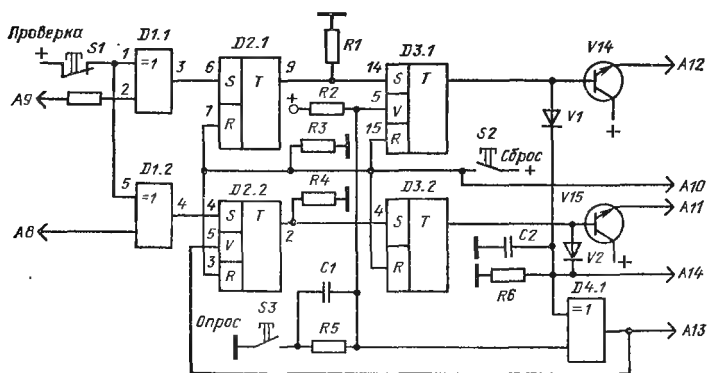


Рис. 7.20. Два канала ячейки памяти N617

ческая 1, она же появляется на выходе этой микросхемы, и сигналы сработавших триггеров первой ступени переписываются во вторую. После отпуска кнопки $S3$ на выходах этих триггеров появляются логические 1, открывающие выходные эмиттерные повторители $V14$, $V15$. Ток потребления ячейки 10 мА.

Ячейка N315 формирует сигналы управления коммутационными аппаратами и бесконтактными элементами электропривода и выполняет следующие функции:

а) отключение автоматических выключателей главной цепи и реле готовности, сдвиг импульсов в инвертор, шунтирование регуляторов по сигналу аварии;

б) запрет включения выключателей и отключение реле готовности при отсутствии разрешающих сигналов и ЭДС двигателя;

в) при необходимости — наложение электромеханического тормоза при отключении выключателя сразу же либо после спада ЭДС двигателя до нуля;

г) гашение поля двигателя при перенапряжении на его якоре или при перевозбуждении.

Ток потребления ячейки 50 мА.

Ячейка УР-2АИ состоит из узлов управления реле защиты $РН$, реле линейного контактора $РКЛ$ и реле форсировки тормоза $РФТ$, узлов обработки сигналов *Опробование* и *Сброс* сигнализации, узла памяти состояния автоматического выключателя главной цепи. Узел управления $РН$ состоит из триггера и логической схемы, обеспечивающей включение $РН$ только при наличии сигналов разрешения из схемы управления электроприводом и внешних схем, запрет отключения $РН$ при наличии ЭДС и отсутствии разрешающих сигналов, отключение $РН$ при появлении сигнала *Авария*. Узел управления $РКЛ$ также образует память с несколькими разрешающими и запрещающими сигналами, обеспечивая, в частности, запрет включения при наличии напряжения на двигателе, отключение при отключении силовых автоматических выключателей, запрет отключения с пульта управления при наличии напряжения

на двигателе. Узел управления РФТ обеспечивает включение этого реле одновременно с включением реле тормоза и отключение его спустя 1—4 с. Ток потребления ячейки 120 мА.

Ячейки ИИ-1АИ, ИИ-2АИ содержат элементы комбинационной логики. Первая из них содержит шесть узлов, образующих логические функции:

$$1. Z_{B21} = (\bar{X}_{B23} \vee \bar{X}_{B22}) \bar{X}_{A22};$$

$$2. Z_{A7} = X_{A10} X_{B23} X_{B9} X_{B10} \vee \bar{X}_{A9};$$

$$Z_{A9} = \overline{X_{A10} X_{B8} X_{B9} X_{B10}};$$

$$3. Z_{B5} = X_{A19} \vee X_{A20} X_{B20} \vee X_{B25} X_{B26} \vee \bar{X}_{A21} \vee \bar{X}_{A6} \vee \bar{X}_{B6};$$

$$Z_{A21} = \overline{X_{A19} \vee X_{A20} X_{B20} \vee X_{B25} X_{B26}};$$

$$4. Z_{B7} = X_{A23} \vee X_{B24} \vee \bar{X}_{A25} \vee \bar{X}_{A26};$$

$$Z_{A25} = \overline{X_{A23} \vee X_{B24}};$$

$$5. Z_{A8} = X_{B18} X_{B19} X_{A12} X_{A13} \vee \bar{X}_{A11} \vee \bar{X}_{B11};$$

$$6. Z_{B15} = \overline{X_{A16} X_{A18} X_{B17} X_{B18}}.$$

Здесь X_{A9} — входной логический сигнал на контакте А9 и т.д.; Z_{B5} — выходной логический сигнал на контакте В5 и т.п. Так как ряд микросхем серии К511 допускают соединение их выходов между собой для образования функции ИЛИ, один и тот же контакт фигурирует как вход или как выход. Ток потребления ячейки 100 мА.

Ячейка ИИ-2АИ реализует логические функции:

$$Z_{B19} = X_{A27}; \quad Z_{B16} = X_{B17}; \quad Z_{B15} = X_{B25};$$

$$Z_{B23} = \bar{X}_{A26}; \quad Z_{A12} = \bar{X}_{A16}; \quad Z_{B24} = X_{B27} \vee X_{B26};$$

$$Z_{A14} = X_{A22} \vee X_{B21}; \quad Z_{A7} = X_{B20} \vee X_{B22};$$

$$Z_{A6} = X_{B11} \vee X_{B18}; \quad Z_{B9} = \overline{X_{A20} \vee \bar{X}_{B10}};$$

$$Z_{B8} = X_{A20} \vee X_{B10} \vee \bar{X}_{B9}; \quad Z_{A9} = X_{A18} X_{B5} \vee \bar{X}_{A8};$$

$$Z_{A8} = \overline{X_{A18} X_{B5}}; \quad Z_{A11} = X_{B7} \vee X_{B6} \vee \bar{X}_{A10}.$$

Узлы могут соединяться внутри ячейки перемычками и осуществлять более сложные функции. Ток потребления ячейки 120 мА.

7.7. Источники питания

К источникам питания относятся ячейки СН-4АИ — СН-6АИ, N702, Г-2АИ, N703.

Схема ячейки стабилизаторов напряжения СН-4АИ приведена на рис. 7.21. Ячейка содержит два стабилизатора компенсационного типа, вырабатывающих напряжения +15 и —15 В относительно общей точки.

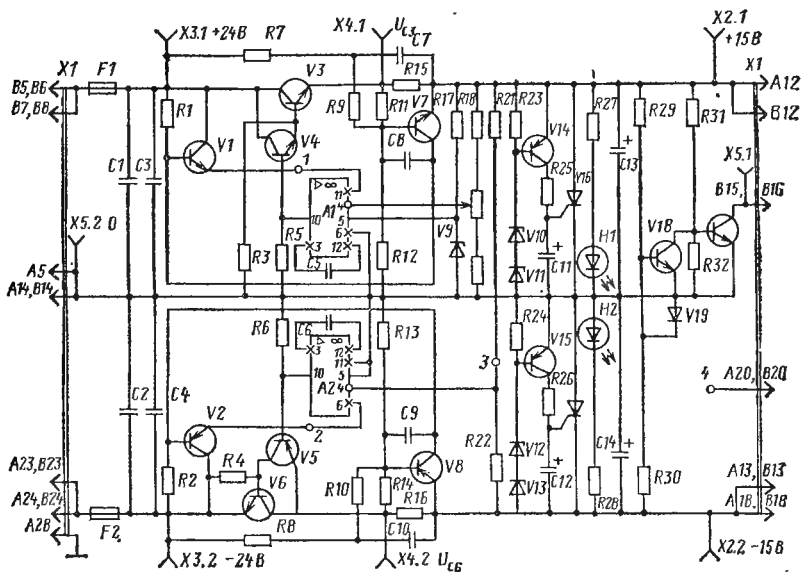


Рис. 7.21. Ячейка СН-4АИ

Регулирующие элементы стабилизаторов выполнены на составных транзисторах $V3$, $V4$ ($V5$, $V6$), управление которыми осуществляется ОУ $A1$ ($A2$). Установка выходных напряжений выполняется потенциометром $R19$. Защита стабилизатора от коротких замыканий, построенная на транзисторах $V1$, $V7$ ($V2$, $V8$), запирает регулирующие транзисторы при больших токах нагрузки. Резисторы $R7$, $R9$ ($R8$, $R10$) обеспечивают самоблокировку схем защиты при срабатывании. Конденсаторы $C7$ ($C10$) создают временную задержку для обеспечения режима пуска и повышения помехоустойчивости.

Схемы защиты от перенапряжений закорачивают нагрузку тиристорами $V16$, $V17$ при превышении выходным напряжением напряжения на стабилитронах $V10$ и $V11$ ($V12$ и $V13$), при этом сгорает предохранитель $F1$ ($F2$) и отключается выходное напряжение. При наличии обоих выходных напряжений на контакте $B15$ вырабатывается логический 0. Уставка защиты от короткого замыкания 1,6 А. Размах пульсаций выходного напряжения не более 50 мВ. Следует отметить, что до 1987 г. выпускалась ячейка такого же типа на основе двухполярного стабилизатора напряжения в микромодульном исполнении типа 701МП23.

Ячейка СН-5АИ (рис. 7.22) представляет собой стабилизатор напряжения компенсационного типа, вырабатывающий напряжение $+15$ В и построенный по схеме, аналогичной стабилизатору на $+15$ В ячейки СН-4АИ. Регулирующий элемент выполнен на составных транзисторах $V2$ — $V4$. Управление регулирующим элементом осуществляется ОУ $A1$,

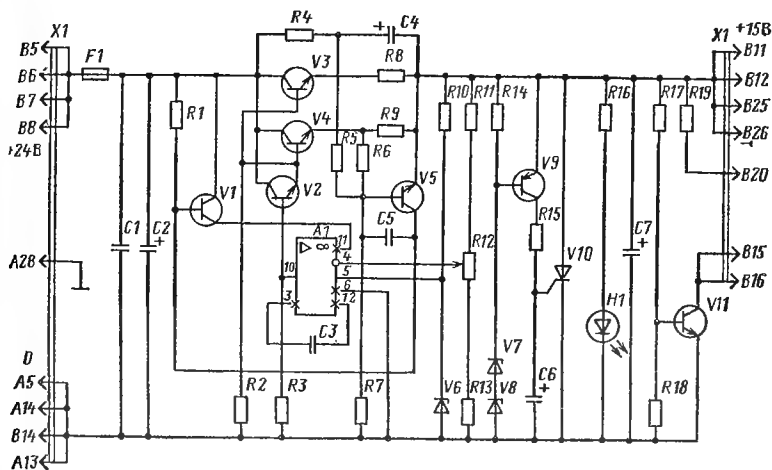


Рис. 7.22. Ячейка СН-5АИ

выходное напряжение устанавливается потенциометром $R12$. Схема защиты от коротких замыканий построена на транзисторах $V1$ и $V5$. Временная задержка для обеспечения режима запуска и помехоустойчивости создается конденсатором $C4$. Схема защиты от перенапряжения на выходе построена на тиристоре $V10$ и транзисторе $V9$. На контакте разъема $B15$ вырабатывается логический 0 при наличии обоих напряжений. Уставка защиты от короткого замыкания 3,5 А. Размах пульсаций выходного напряжения 50 мВ. До 1987 г. ячейка выпускалась на базе однополярных стабилизаторов в микромодульном исполнении типа 701МП21.

Схема одного канала ячейки СН-6АИ приведена на рис. 7.23, а. Схема второго канала аналогична. Регулирующий элемент выполнен на составном транзисторе $V1$, $V2$, управляемом ОУ $A1$. Установка выходного напряжения производится потенциометром $R25$.

Питание ОУ и схемы защиты от перенапряжений осуществляется от источника +12 В, питание регулирующих элементов — от источника +9 В. Защита от коротких замыканий выполняется транзистором $V7$, запирающим регулирующие транзисторы. Резисторы обеспечивают самоблокировку схемы при срабатывании защиты. Конденсатор $C3$ создает временную задержку при пуске и повышает помехоустойчивость. При перенапряжении на выходе открывается тиристор $V17$, в результате чего предохранитель $F1$ сгорает. Микросхема $D1$ служит для выработки логического 0, свидетельствующего о наличии выходного напряжения; ее элемент $D1.3$ формирует логическую 1 уровня ТТЛ. Уставка срабатывания защиты от коротких замыканий 4 А, размах высокочастотных пульсаций 20 мВ.

До 1987 г. ячейка СН-6АИ выполнялась на основе микросхемы стабилизатора $K142ЕН1$. Схема одного канала приведена на рис. 7.23, б.

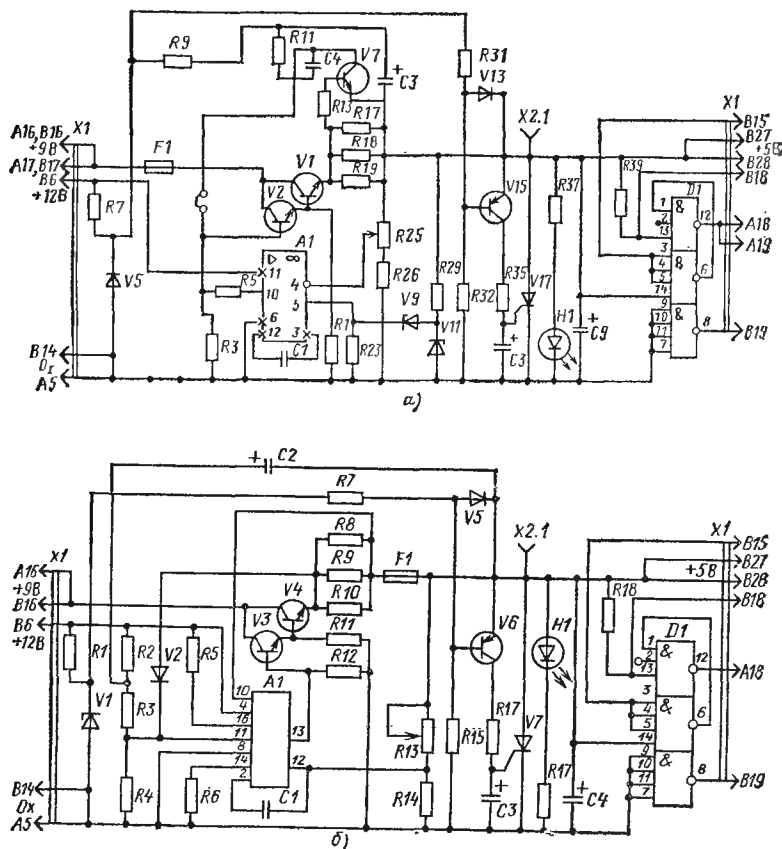


Рис. 7.23. Ячейка СН-6АИ (1 канал):
 а — новый вариант; б — прежний вариант

Основным элементом каждого канала является микросхема стабилизатора $A1$ типа К142ЕН1. Для получения тока нагрузки 2 А используется усилитель мощности $V3, V4$. Питание ячейки осуществляется от двух нестабилизированных напряжений: $+12 \pm 1,2$ В для питания стабилизатора $A1$ и $9 \pm 0,9$ В для питания транзисторов $V3, V4$. Резистором $R13$ задается уровень выходного напряжения стабилизатора. В схеме ячейки предусмотрены защита от короткого замыкания нагрузки и защита от перенапряжения на выходе ячейки. Защита от коротких замыканий осуществляется с помощью схемы, содержащей шунты $R8-R10$, конденсатор $C2$, резисторы $R2-R4$, диод $V2$. При перенапря-

жения на выходе с помощью транзистора $V6$ формируется отпирающий импульс на тиристор $V7$, при этом образуется цепь короткого замыкания и предохранитель $F1$ перегорает. На ячейке размещена микросхема $D1$, которая служит для выработки логического сигнала (0), свидетельствующего о наличии выходного напряжения, а также элемент $D1.3$, формирующий логическую 1 уровня ТТЛ. Уровень логической 1 появляется также на контакте $B18$.

В отличие от ячейки СН-4АИ в ячейке N702 регулирующий элемент выполнен на транзисторе. Имеется защита от перегрузок, защита от коротких замыканий осуществляется предохранителями. Коэффициент стабилизации около 100, амплитуда пульсаций выходного напряжения не более 10 мВ.

Ячейка Г-2АИ (рис. 7.24) содержит автогенератор на операционном усилителе $A1$, усилитель мощности на транзисторах $V1$, $V2$, $V4$, $V5$ и выходной трансформатор. На контактах $B7$, $B9$ образуется переменное прямоугольное напряжение амплитудой 24 В для питания сельсинных командоаппаратов, на контактах $B8$ — $B11$ — такое же напряжение амплитудой 12,5 В, предназначенное для управления коммутирующими цепями фазочувствительных выпрямителей.

Ячейка обеспечивает питание шести сельсинов типа БД404А или трех сельсинов типа БД501А. Ток потребления 120 мА от каждого источника.

Ячейка N703 выполнена практически по такой же схеме, однако питание выходного каскада осуществляется от источника ± 27 В. На ячейке установлен разделительный трансформатор для гальванического отделения выходной цепи сельсина от входа фазочувствительного выпрямителя.

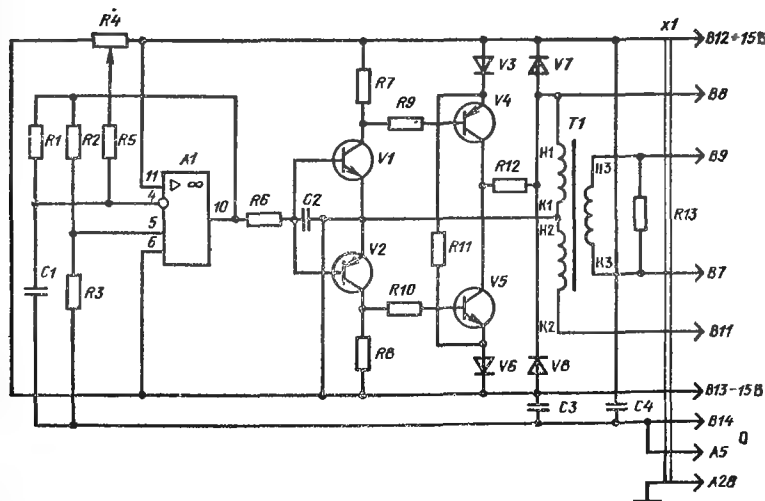


Рис. 7.24. Ячейка Г-2АИ

7.8. Блоки с аналоговыми элементами

Аналоговые элементы управления размещаются в блоках; число ячеек в блоках определяется наряду с функциональной особенностью блока шириной его окна, составляющего 420 мм. В свою очередь, габарит ячейки определяется шириной ее лицевой панели. Последняя зависит от количества и размеров элементов, устанавливаемых на ней (обычно это гнезда для измерения напряжений в различных точках ячейки, светодиоды, регулируемые резисторы). Большинство блоков, применяющихся в электроприводах, имеет определенную функциональную характеристику. В табл. 7.2 приведен перечень основных блоков, применяющихся в наиболее массовом отрезке электроприводов серии КТЭУ.

Таблица 7.2

№ п. п.	Наименование	Тип	Технические данные
1	Блок регулятора скорости БРС-1	КФУ-0190	Регулирование тока, скорости и ЭДС в реверсивных электроприводах. Входные сигналы — задание скорости, обратные связи по скорости и току, напряжению ТП. Выходные сигналы — входное напряжение СИФУ ТП
2	Блок регулятора скорости БРС-2	КФУ-0233	Предназначен для эквивалентных 12-пульсных схем выпрямления; содержит два регулятора тока для выпрямительных мостов. Остальное, как в п. 1
3	Блок регулирования дополнительный БРД	КФУ-0191	Содержит узлы, расширяющие функциональные возможности системы управления: узел снижения $I_{\max}$ при увеличении скорости, потенциальный разделитель ПР-ЗАИ — две ячейки, РГ-ЗАИ, нуль-орган ИН-ЗАИ
4	Блок измерения	КФУ-0192	Содержит три датчика тока и три датчика напряжения, а также ячейку РГ-ЗАИ
5	Блок измерения	КФУ-0229	Содержит шесть датчиков напряжения, а также ячейку РГ-ЗАИ

Продолжение табл. 7.2

№ п. п.	Наименование	Тип	Технические данные
6	Блок логики и сигнализации БЛС	КФУ-0157	Содержит узлы ввода и вывода логических и контактных сигналов и узлы их логической обработки в соответствии с требуемым алгоритмом
7	Блок задания скорости БЗС	КФУ-0156	Содержит ячейки для сельсинного и ступенчатого задания скорости, генератор питания сельсинов, ячейку ЗСТ-4АИ
8	Блок логики, сигнализации и задания скорости БЛЗС	КФУ-0158	Аналогичен по назначению блокам в п. 6 и 7, но в упрощенном варианте
9	Блок задания скорости БЗС-2	КФУ-0237	Аналогичен по составу блоку в п. 7
10	Блок регулирования возбуждения БРВ	КФУ-0193	Содержит узлы для реализации двухконтурного регулятора ЭДС, воздействующего на поток возбуждения двигателя. Входные сигналы — ЭДС, ток возбуждения, выходной сигнал — входное напряжение СИФУ возбuditеля
11	Блок возбуждения тахогенератора БВТ	КФУ-0148	Предназначен для питания стабилизированным током обмотки возбуждения тахогенераторов серий ТТ, ПТ; $I_b = 0,35 \div 1,1$ А; $U_b = 48 \div 60$ В
12	Блок выпрямителей БВСН	КФУ-0106	Содержит восемь трехфазных мостовых выпрямителей
13	Блок логики БЛ1	КФУ-0237	Аналогичен по назначению блоку в п. 6, но применен в электроприводах мощностью 1000—12 000 кВт

Продолжение табл. 7.2

№ п. п.	Наименование	Тип	Технические данные
14	Блок датчика тока (напряжения)	S402	Коэффициент усиления в режиме датчика напряжения 0,5; 1; 1,5; в режиме датчика тока 50, 100, 150. Полоса пропускания 1,5 кГц. Приведенная погрешность 1 %. Потенциал разделяемых цепей 1,5 кВ
15	Блок гальванических развязок	K400	Содержит восемь ячеек типа РГ-4АИ и ячейку ввода типа N604
16	Блок регуляторов	K201	Содержит ячейку задания скорости, регулятор скорости (ячейку N200), регулятор тока (ячейку N210), ячейку шунтирования (N215), две ячейки с реле (N501)
17	Блок регуляторов	K223	Аналогичен по функциям каскаде K201, содержит ячейки N504, N523, N220, N215, N210
18	Кассета защиты первого типа	—	По функциям аналогична блоку в п. 6; применяется в электроприводах серии КТЭ с номинальным током до 200 А
19	Кассета защиты второго типа	—	То же, но применяется в электроприводах серии КТЭ с номинальным током 320 А и выше; содержит 13 ячеек управления

На рис. 7.25 представлена схема блока БВТ. Он питается от сети трехфазного тока 380 В с нулевой точкой, которая подсоединяется к контактам разъема блока 25, 26. При перегорании одного или двух предохранителей неоновая лампа *H1* загорается. Силовой выпрямитель выполнен на диодах *V3*, *V4*, *V7*, *V8*, *V11*, *V12*. Вспомогательный выпрямитель питает предварительный усилитель стабилизатора. Измерительная схема состоит из шунта *R26*, опорного стабилитрона *V23* и дифференциального усилителя на транзисторах *V24*, *V27*. Выходное напряжение дифференциального усилителя усиливается транзистором *V21*

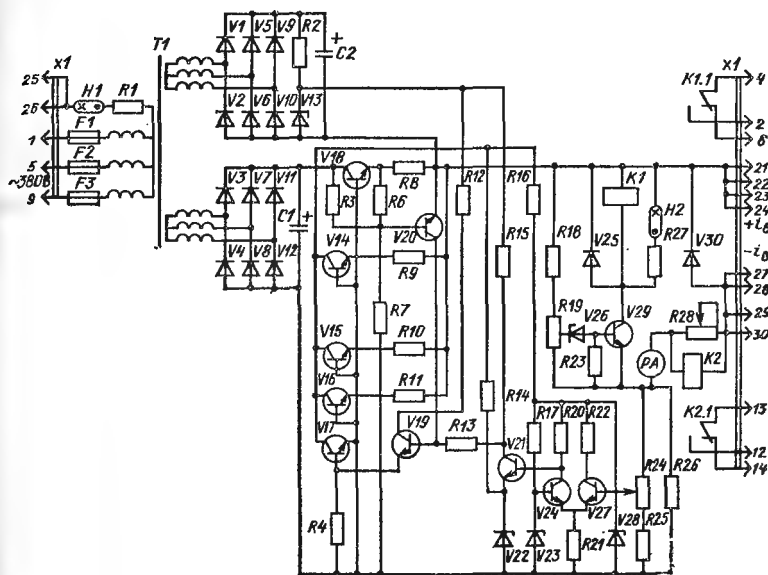


Рис. 7.25. Блок возбуждения тахогенератора

и через эмиттерный повторитель $V19$ поступает на составной транзистор $V14-V18$, в котором четыре выходных транзистора включены параллельно.

В блоке предусмотрена защита от короткого замыкания; напряжение на шунте $R8$ через транзистор $V20$ воздействует на закрывание выходных транзисторов при чрезмерном увеличении тока нагрузки. Кроме того, в блоке установлены реле $K1$, включающиеся при перенапряжении на выходе стабилизатора, реле $K2$, отпадающее при исчезновении тока возбудителя, а также амперметр для его измерения. Необходимое значение тока возбуждения устанавливается резистором $R24$.

Нестабильность тока нагрузки при изменении напряжения сети 380 В на $\pm 10\%$ или изменении сопротивления нагрузки от R_n до $1,24R_n$ 1 %, температурный дрейф тока нагрузки 0,5 мА/град.

Блок датчика $S402A$ (напряжения $S402$) имеет отличную от других блоков конструкцию: он состоит из двух плат, встроенных в пластмассовый кожух. Схема датчика (рис. 7.26) состоит из следующих узлов: генератора переменного напряжения частотой 10 кГц (усилитель $A4$, транзисторы $V3, V4$), модулятора с усилителем $A1$, разделительного трансформатора $T1$, коммутирующего трансформатора $T2$, демодулятора на усилителе $A2$ и ключах $V1, V2$, согласующего усилителя $A3$ с входным фильтром. Входное напряжение поступает на контакты разъема $x2, x3$, модулируется, усиливается ОУ $A1$ и передается через трансформатор $T1$ на вход демодулятора, где выпрямляется и после

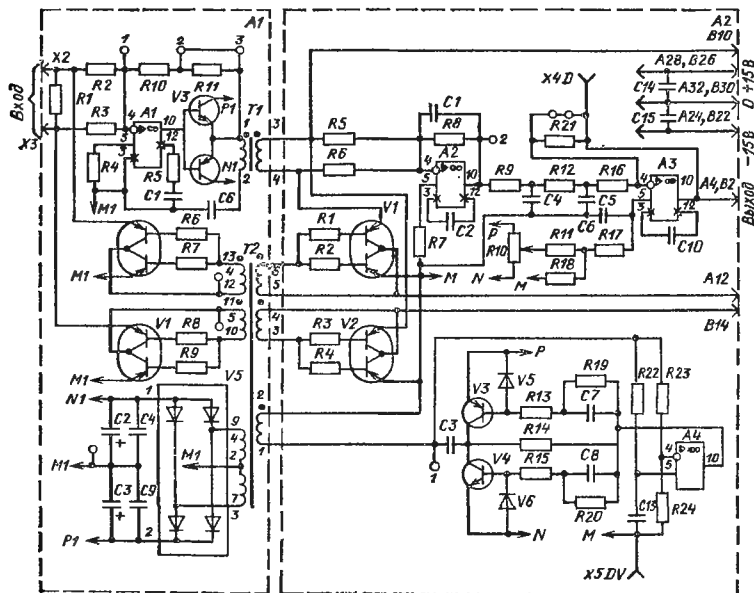


Рис. 7.26. Блок датчика тока S402

фильтра на входе ОУ А3 поступает на выходной контакт разъема. Коэффициент усиления устанавливается установкой перемычек резисторов в цепи обратной связи А1. Датчик тока от датчика напряжения отличается номинальными значениями этих резисторов. Ток потребления 50 мА.

7.9. Ячейки модернизированной серии электроприводов

В ячейках модернизированной серии электроприводов серий ЭК⁺ применены интегральные микросхемы повышенной степени интеграции. ОУ типа К157УД2 — два ОУ в одном корпусе, бесконтактные ключи серии К590, аналоговые умножители типа КР525ПС2, что позволило сделать ячейки более насыщенными. Для уменьшения числа переходных соединений применены платы двойного размера (233×160 мм), на которых удалось разместить полностью узел или несколько узлов, которые в серии УБСР-АИ требуют несколько ячеек. Так как каждая ячейка выполняет сложные функции, она не является универсальной, и ее практически нельзя применить для другой цели, чем та, для которой она предназначена, поэтому эти ячейки используются только в общей части электроприводов всех исполнений; для реализации специфических функций необходимо применение ячеек, номенклатура которых приведена в табл. 7.1. Номенклатура основных ячеек модернизированной серии дана в табл. 7.3.

Т а б л и ц а 7.3

№ п. п.	Наименование	Тип	Технические данные
1	Ячейка регуляторов Р-2АИ	ЯФУ-0858	Содержит регуляторы: двухконтурный тока, скорости с узлом ограничения и умножителем в цепи его обратной связи, узлы выделения сигнала ЭДС, снижения максимального тока при увеличении скорости, датчик интенсивности для ограничения di/dt . Ток потребления 0,25 А
2	Ячейка вспомогательных узлов регуляторов Р-1АИ	ЯФУ-0857	Содержит датчик интенсивности с разными темпами разгона и торможения, суммирующий усилитель задания скорости, многоходовый нуль-орган обеспечения стоянки двигателя. Ток потребления 0,25 А
3	Ячейка ступенчатого задания скорости СЗ-7АИ	ЯФУ-0855	Содержит узлы формирования сигнала готовности, сигнала динамического торможения, трехступенчатого задания скорости электропривода. Ток потребления 0,4 А от источника 15 В, 0,1 А от источника —15 В
4	Ячейка сельсинного задания скорости СЛЗ-4АИ	ЯФУ-0856	Содержит узлы формирования сигналов готовности и динамического торможения, фазочувствительный выпрямитель, генератор прямоугольных колебаний 1000 Гц, одноступенчатый датчик скорости. Ток потребления 0,5 А от источника 15 В, 0,15 А от источника —15 В

Продолжение табл. 7.3

№ п. п.	Наименование	Тип	Технические данные
5	Ячейка аварийная сигнализации АС-1АИ	ЯФУ-0906	Содержит 12 входных цепей для ввода аварийных сигналов, узлы памяти и индикации, формирования сигналов «Авария» и запоминания первой аварии. Ток потребления от источника 15 В 0,4 А
6	Ячейка сигнализации АПС-1АИ	ЯФУ-0907	Содержит 12 входных цепей для ввода аварийных или предупреждающих сигналов, узлы памяти и сигнализации, формирования сигналов «Авария» и (или) «Предупреждение». Ток потребления 0,3 А от источника 15 В
7	Ячейка управления возбуждением РВ-2АИ	ЯФУ-0912	Содержит одноконтурный или двухконтурный (для двухдвигательных электроприводов) регулятор потока возбуждения двигателя с корректировкой параметров при ослаблении поля, нуль-органы, фиксирующие исчезновение тока возбуждения и перенапряжение на якоре двигателя. Ток потребления 0,1 А
8	Ячейка управления возбуждением в двухдвигательном электроприводе	ЯФУ-0913	Предназначена для управления током возбуждения второго двигателя в двухдвигательных электроприводах. Ток возбуждения первого двигателя регулируется с помощью ячейки в п. 7. Содержит узел формирования разности токов, регулятор тока возбуждения, нуль-орган, фиксирующий исчезновение тока возбуждения двигателя. Ток потребления 0,1 А

Продолжение табл. 7.3

№ п. п.	Наименование	Тип	Технические данные
9	Ячейка управления тормозом УТ-АИ	ЯФУ-0910	Предназначена для управления однофазным тиристорным возбудителем, питающим катушку электромагнитного тормоза. Обеспечивает выработку сигналов торможения и растормаживания и режим форсировки. Ток потребления 50 мА
10	Блок датчиков УД-1АИ	—	Содержит два датчика, по схеме аналогичные ДТ-3АИ, которые могут работать как датчики тока или напряжения. Имеет встроенный стабилизатор напряжения. Выполнен в виде автономного блока
11	Блок питания БПМ-1АИ	КФУ-0535	Вырабатывает напряжение ± 15 В, 6 А для питания цепей управления. Имеет защиту от коротких замыканий и от повышения напряжения на выходе

7.10. Цифровые элементы управления электроприводами

В тех случаях, когда точность, обеспечиваемая аналоговыми системами управления, не удовлетворяет требованиям технологического процесса, применяют элементы цифровых систем. Промышленностью освоен серийный выпуск цифровых элементов серии УБСР-ДИ, построенных на микросхемах серии К155 малой степени интеграции. Эти элементы komponуются в типовые блоки, выполняющие достаточно сложные логические и арифметические операции и являющиеся функционально законченным устройством. Подробная информация об элементах этой серии приведена в справочнике [1].

Производственное объединение ХЭМЗ выпускает цифровые элементы с применением микросхем серий К155 и К555 средней степени интеграции, имеющие меньшие габаритные размеры и трудоемкость изготовления и большую надежность, чем аналогичные устройства УБСР-ДИ с микросхемами малой степени интеграции. Номенклатура и основные технические данные этих элементов приведены в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Тип	Наименование	Назначение	Технические данные
ЯФУ-0249	АУ-1ДИ	Арифметическое устройство для алгебраического суммирования или вычитания с учетом знаков двоичных и двоично-десятичных кодов	Количество двоичных разрядов 8. Ток потребления 0,5 А
ЯФУ-0248	СМ-1ДИ	Суммирование и вычитание чисел в двоичном коде	Количество разрядов 12. Ток потребления 0,4 А
ЯФУ-0247	РС-3ДИ	Двоичный реверсивный счетчик с входной логикой и индикацией состояния разрядов с входами для предварительной записи информации	Число разрядов 12. Максимальная частота входных импульсов 3 МГц. Длительность входных импульсов 100 нс. Ток потребления 0,4 А
ЯФУ-0246	РС-4ДИ	Двоично-десятичный реверсивный счетчик с входной логикой и индикацией состояния разрядов с входами для предварительной записи информации	Количество тетрад 3
ЯФУ-0245	РС-5ДИ	Двоично-десятичный счетчик без предварительной записи информации	Количество разрядов 2×3 тетрады. Ток потребления 0,4 А
ЯФУ-0244	УД-1ДИ	Управляемый делитель частоты для формирования импульсной последовательности, частота которой пропорциональна двоичному коду числа, подаваемого на управляющие входы	Разрядность управляющего кода 3×6, частота входных импульсов 3 МГц. Ток потребления 0,3 А

ЯФУ-0242	ПК-1ДИ	Преобразователь двоично-десятичного кода в двоичный	Количество входных тетрад 2 и 3. Ток потребления 0,5 А
ЯФУ-0243	ПК-2ДИ	Преобразователь двоичного кода в двоично-десятичный	Количество входных разрядов 6 и 12. Ток потребления 0,5 А
ЯФУ-0241	УК-1ДИ	Умножитель матричный для умножения четырехразрядного множимого и шестизразрядного множителя с возможностью расширения	Ток потребления 0,5 А
ЯФУ-0240	УК-2ДИ	Умножитель со сдвиговым регистром для умножения восьмиразрядных двоичных чисел с возможностью расширения	Время умножения 16 мкс. Ток потребления 0,5 А
ЯФУ-0239	УК-3ДИ	Умножитель двух двенадцатизразрядных чисел	Время умножения 25 мкс. Ток потребления 0,5 А
ЯФУ-0238	ЗР-1ДИ	Запоминающий регистр, предназначенный для хранения четырех четырехразрядных чисел и их индикации	Количество разрядов 16. Ток потребления 0,3 А
ЯФУ-0237	СЕ-1ДИ	Селектор входных сигналов для выбора одного из четырех информативных источников	Число каналов 6. Ток потребления 0,23 А
ЯФУ-0236	УМ-2ДИ	Усиление по мощности логических сигналов и их индикация	Число каналов 16. Ток потребления 0,25 А

Раздел 8

ТРАНСФОРМАТОРНОЕ И РЕАКТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

8.1. Основные сведения

Трансформаторное оборудование, используемое для комплектных тиристорных электроприводов постоянного тока, соответствует общим техническим требованиям ГОСТ 16772-77.

Основные параметры преобразовательных трансформаторов для тиристорных электроприводов приведены в табл. 8.1 (см. с. 264).

Трансформаторное оборудование выбирается в соответствии с параметрами ТП. Шкала номинальных выпрямленных токов $I_{\text{дном}}$ и напряжений $U_{\text{дном}}$ ТП соответствует ГОСТ 29593-83.

Номинальный ток электропривода $I_{\text{ном}}$ совпадает с номинальным током преобразователя $I_{\text{дном}}$.

Номинальное напряжение электропривода $U_{\text{ном}}$ ниже номинального выпрямленного напряжения ТП $U_{\text{дном}}$ на 5—15 % (табл. 8.2).

Таблица 8.2

$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	440	600	750	900
$U_{\text{дном}}, \text{В}$	230	460	660	825	1050

Типовые мощности трансформаторов соответствуют ГОСТ 9680-77. Линейное напряжение сетевой обмотки U_1 трансформаторов соответствует данным, приведенным ниже:

Мощность, кВт·А

 $U_1, \text{кВ}$

До 250	0,38
От 400 до 8000	6 и 10
От 10 000 и выше	10

Напряжение вентильной обмотки U_2 зависит от номинального выпрямленного напряжения ТП в соответствии с табл. 8.3.

Таблица 8.3

$U_{\text{дном}}, \text{В}$	230	460	660	825	1050
$U_2, \text{В}$	205	410	570	710	900

В трансформаторах предусмотрены следующие виды переключения ответвлений сетевой обмотки: без возбуждения (ПБВ) и под нагрузкой (РПН). Трансформаторы с ПБВ позволяют при отключении всех обмоток от сети регулировать напряжение в пределах $\pm 5\%$ для компенсации изменения напряжения питающей сети. Трансформаторы с РПН позволяют проводить ступенчатое регулирование напряжения под нагрузкой на 40 % вниз от номинального выпрямленного значения; число ступеней — не менее десяти.

Трансформаторы с ПБВ выпускаются мощностью 400 кВ·А и выше; трансформаторы с РПН изготавливаются мощностью 4000 кВ·А и выше.

По виду охлаждения преобразовательные трансформаторы, применяемые в электропроводах, могут быть с естественным воздушным охлаждением при открытом исполнении (типа ТСП), с естественным воздушным охлаждением при защищенном исполнении (типа ТСЗП), с естественным охлаждением негорючим жидким диэлектриком — совтолом (типа ТНЗП), с естественным масляным охлаждением (типов ТМП, ТМНП, ТМПД, ТМНПД, ТРМП, ТМТП), с масляным дутьевым охлаждением и естественной циркуляцией масла (типов ТДП, ТДНП, ТДПД, ТДНПД, ТРДПД, ТДТП, ТРДТП).

Сухие трансформаторы типа ТСП выпускаются на мощности 10—250 кВ·А, типа ТСЗП — 10—4000 кВ·А, совтоловые типа ТНЗП — 400—1600 кВ·А, масляные — 2500 кВ·А и выше.

В зависимости от числа обмоток трансформаторы разделяются на двухобмоточные и трехобмоточные.

Двухобмоточные трансформаторы в свою очередь выполняются с одной активной частью (типов ТСП, ТСЗП, ТНЗП, ТМП, ТДП, ТМНП, ТДНП, ТРМП, ТРДП) и с двумя активными частями (типов ТМПД, ТДПД, ТМНПД, ТДНПД, ТРДПД). Двухобмоточные масляные трансформаторы имеют исполнения, в которых вторичная обмотка расщеплена на две части — трансформаторы с расщепленными обмотками (типов ТРМП, ТРДП, ТРДПД).

Трансформаторы с одной активной частью двухобмоточные (типов ТСП, ТСЗП, ТНЗП, ТМП, ТДП, ТМНП, ТДНП) и с расщепленными обмотками (типов ТРМП, ТРДП) предназначены для питания ТП по трехфазной мостовой выпрямительной схеме. В трансформаторах с расщепленными обмотками (серий ТРМП, ТРДП) каждая вентиляльная обмотка рассчитана на полное выпрямленное напряжение и полную силу выпрямленного тока ТП. Сетевая обмотка этих трансформаторов рассчитана на неодновременную работу вентиляльных обмоток длительно, т. е. трансформатор допускает длительную работу одной вентиляльной обмотки с ее номинальным током только при отключенной другой вентиляльной обмотке. Таким образом, трансформаторы серий ТРМП и ТРДП могут быть использованы для питания электроприводов с реверсивными ТП, включенными только по перекрестной схеме. Для использования этих трансформаторов для реверсивных ТП с совместным управлением выпрямительными группами каждая вентиляльная обмотка и сетевая обмотка рассчитаны на 110 %-ный номинальный ток ТП (для учета уравнительного тока).

Трансформаторы с двумя активными частями в одном баке двухобмоточные (типов ТМПД, ТДПД, ТМНПД, ТДНПД) и с расщепленными обмотками (типа ТРДПД) предусмотрены для создания эквивалентных 12-пульсных схем для ТП на напряжения 660, 825 и 1050 В.

Таблица 8.1

Наименование	Изготовитель	Тип трансформатора	Типовая мощность, кВ·А	Параметры преобразователя		Наличие ПБВ или РПН
				Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	
Сухие трансформаторы мощностью от 10 до 125 кВ·А	Электrozавод им. В. В. Куйбышева (г. Москва)	ТСП; ТСЗП	10; 16; 25; 63; 100; 175	230; 460	25; 50; 100; 200; 320	—
Сухие трансформаторы мощностью 160 и 250 кВ·А	УЭТМ (г. Свердловск)	ТСП; ТСЗП	160; 250	115; 320; 345; 460	250; 320; 400; 500; 800; 1000; 1600	—
Сухие трансформаторы мощностью от 400 до 1000 кВ·А	То же	ТСЗП	400; 630; 1000	230; 345; 460; 660; 825	630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500	ПБВ
Сухие трансформаторы мощностью от 1600 до 4000 кВ·А	» »	ТСЗП	1600; 2500; 4000	460; 660; 825; 1050	1600; 2000; 2500; 4000; 5000	ПБВ
Совтоловые трансформаторы	Трансформаторный завод (г. Чирчик)	ТНЗП	400; 630; 1000; 1600	230; 345; 460; 660; 825	500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500	ПБВ

Масляные двухобмоточные трансформаторы мощностью от 2500 до 20 000 кВ·А	УЭТМ Свердловск) (г.	ТМП; ТДП	2500; 4000; 6300; 10 000	460; 660; 825; 1050	2500; 4000; 5000; 6300; 8000	ПБВ
		ТМПД; ТДПД	3200; 5000; 8000; 12 500; 20 000	660; 825; 1050	2000; 2500; 4000; 5000; 6300; 8000; 10 000; 12 500	ПБВ
Масляные двухобмоточные трансформаторы мощностью от 2500 до 20 000 кВ·А	То же	ТМНП; ТДНП	4000; 6300; 10 000	660; 825; 1050	2500; 4000; 5000; 6300	РПН
		ТМНПД; ТДНПД	5000; 8000; 12 500; 20 000	660; 825; 1050	2000; 2500; 4000; 5000; 6300; 8000; 10 000; 12 500	РПН
Масляные трансформаторы с расщепленными обмотками от 400 до 25 000 кВ·А для ТП с перекрестной схемой	» »	ТРМП; ТРДП	4000; 6300; 10 000	660; 825; 1050	2500; 4000; 5000	ПБВ
		ТРДПД	8000; 12 500; 20 000; 25 000	825; 1050	2500; 4000; 5000; 6000; 8000; 10 000; 12 500	ПБВ
Масляные трансформаторы с расщепленными обмотками мощностью от 8000 до 32 000 кВ·А для ТП с противоположной схемой	» »	ТРДПД	8000; 12 500; 20 000; 32 000	825; 1050	4000; 5000; 6300; 8000; 10 000; 12 500	ПБВ

Продолжение табл. 8.1

Наименование	Изготовитель	Тип трансформатора	Типовая мощность, кВ·А	Параметры преобразователя		Наличие ПБВ или РПН
				Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, В	
Масляные трехобмоточные трансформаторы мощностью от 3200 до 8000 кВ·А	УЭТМ (г. Свердловск)	ТМТП; ТДТП	3200; 5000; 8000	660; 825; 1050	2×1250; 2×2000; 2×2500; 2×3150; 2×4000	ПБВ
Масляные трехобмоточные трансформаторы мощностью от 12 500 до 32 000 кВ·А для ТП с противопараллельной схемой	То же	ТРДТП	12 500; 20 000; 32 000	825; 1050	4×2000 (2×4000); 4×2500 (2×5000); 4×3150 (2×6300); 4×4000 (2×8000); 4×5000 (2×10 000); 4×6300 (2×12 500)	ПБВ
Масляные трехобмоточные трансформаторы мощностью от 8000 до 25 000 кВ·А для ТП с перекрестной схемой	» »	ТРДТП	8000; 12 500; 20 000; 25 000	825; 1050	2×2500; 2×4000; 2×5000; 2×6300	ПБВ

Примечание. ПБВ — устройство переключения обмоток трансформатора без возбуждения, РПН — устройство переключения ответвлений обмоток трансформатора под нагрузкой.

Каждая вентиляльная обмотка таких трансформаторов рассчитана либо на полное напряжение и половину номинального тока ТП для возможности параллельного соединения выпрямительных мостов, либо на половинное напряжение и полный ток ТП для возможности последовательного соединения выпрямительных мостов*.

Сетевая обмотка таких трансформаторов (типа ТРДПД, где после класса напряжения указана буква Р) с расщепленными обмотками рассчитана на неодновременную работу вентиляльных обмоток длительно, т. е. такие трансформаторы могут быть использованы для питания реверсивных ТП, включаемых только по перекрестной схеме.

Имеются также другие исполнения трансформаторов типа ТРДПД (где после класса напряжения отсутствует буква Р) с двумя активными частями и с расщепленными обмотками. Каждая вентиляльная обмотка рассчитана на полное напряжение и половину тока ТП, а сетевая обмотка каждой активной части трансформатора на одновременную работу обеих вентиляльных обмоток. Эти трансформаторы могут быть использованы для питания реверсивных ТП, включаемых по антипараллельной схеме. Их можно использовать также для неревверсивных схем с параллельным соединением мостов, для реверсивных схем двухдвигательных электроприводов с параллельным соединением мостов и т. д.

В настоящее время вместо двухобмоточных масляных трансформаторов с ПБВ с двумя активными частями (типов ТМПД и ТДПД) и трансформаторов с расщепленными обмотками с двумя активными частями (типа ТРДПД) выпускаются трехобмоточные трансформаторы.

Трехобмоточные преобразовательные масляные трансформаторы (типов ТМТП, ТДТП, ТРДТП) предназначены для питания ТП, в которых используется эквивалентная 12-пульсная схема выпрямления при параллельном соединении мостов, для двухдвигательных электроприводов, для реверсивных ТП, включаемых как по антипараллельной схеме, так и по перекрестной схеме.

Трансформаторы для электроприводов выпускаются климатического исполнения У (УХЛ) категорий размещения (ГОСТ 15150-69): категории 2 — трансформаторы с масляным охлаждением, категории 3 — трансформаторы с воздушным охлаждением мощностью 160 кВ·А и выше, категории 4 — трансформаторы с воздушным охлаждением мощностью до 100 кВ·А и совтоловым охлаждением.

Трансформаторы типа ТСП (открытого исполнения) предназначены для встраивания в шкафы; трансформаторы типов ТСЗП и ТНЗП (защищенного исполнения) устанавливают в помещении рядом со шкафами электропривода; масляные трансформаторы размещают отдельно в специальных камерах.

Обозначение типов трансформаторов содержит следующие данные (в той последовательности, в которой они приводятся в обозначении): Т — число фаз (трехфазный); Р — расщепление обмоток **; С, СЗ, М, Д, Н — вид охлаждения (соответственно естественное воздушное при открытом исполнении, то же при защищенном исполнении, естественное

* Последовательное соединение выпрямительных мостов в настоящее время в комплектных тиристорных электроприводах не применяется.

** Указывается только для трансформаторов, выполненных с расщепленными вторичными обмотками.

масляное, масляное с дутьем, с негорючим жидким диэлектриком); Н — наличие РПН (для трансформаторов с ПБВ эта буква отсутствует); Т — количество вторичных обмоток — трехобмоточные (для двухобмоточных трансформаторов эта буква отсутствует); Д — две активные части в одном баке (только для соответствующих трансформаторов); через тире приводится типовая мощность в киловольт-амперах; через дробь — класс напряжения сетевой обмотки в киловольтах (0,7 кВ или 10 кВ); после класса напряжения может стоять буква Р, обозначающая реверсивные ТП электроприводов, выполненные по перекрестной схеме; У2 (У3, У4) — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

В § 8.2—8.4 приведены данные по основным сериям преобразовательных трансформаторов, используемых в настоящее время для тиристорных электроприводов постоянного тока:

- а) сухим (мощностью от 10 до 100 кВ·А, 160 и 250 кВ·А, от 400 до 1000 кВ·А, от 1600 до 4000 кВ·А);
- б) совтоловым;
- в) масляным (с одной активной частью двухобмоточным и трехобмоточным).

Все приведенные силовые трансформаторы для тиристорных электроприводов выдерживают циклические перегрузки по классам 2—4 в соответствии с ГОСТ 16772-77. Продолжительность перегрузки 75 % в течение 1 мин, 100 % в течение 15 с и 150 % в течение 10 с. Перегрузки имеют циклический характер и за время цикла, состоящего из перегрузки и паузы, среднеквадратичное значение тока не должно превышать номинальное значение. Время усреднения 10 мин.

Реакторное оборудование, используемое для комплектных тиристорных электроприводов, соответствует общим техническим требованиям ГОСТ 16772-77.

В электроприводах применяются одифазные сглаживающие реакторы, включаемые в цепь постоянного тока, и трехфазные токоограничивающие (анодные) реакторы, включаемые в цепь переменного тока.

Основные параметры реакторов приведены в табл. 8.4.

Реакторное оборудование выпускается климатического исполнения У (УХЛ) и категории размещения 3 (для серий ФРОС и РТСТ) и 4 (для серий СРОС и СРОСЗ) по ГОСТ 15150-69.

Все приведенное реакторное оборудование, как и трансформаторное, выдерживает циклические перегрузки для электроприводов в соответствии с ГОСТ 16772-77.

8.2. Сухие трансформаторы

Сухие трансформаторы предназначены для питания ТП с трехфазной мостовой схемой выпрямления с номинальным напряжением 230, 460, 660, 825 и 1050 В и с номинальным током 25, 50, 100, 200, 320, 500, 800, 1000, 1600, 2000, 2500 и 4000 А.

Типовая мощность трансформаторов 10, 16, 25, 63, 100, 125, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500 и 4000 кВ·А.

Трансформаторы соответствуют следующим техническим условиям: мощностью от 10 до 125 кВ·А — ТУ 16-717.151-83, от 160 до 250 кВ·А — ТУ 16-717.052-79, от 400 до 1000 кВ·А — ТУ 16-717.053-79, от 1600 до 4000 кВ·А — ТУ 16-672.073-85.

Таблица 8.4

Наименование	Изготовитель	Тип реактора	Типовая мощность, кВ·А	Номинальный ток, А	Номинальная индуктивность
Сглаживающие реакторы мощностью 65—1000 кВ·А	Электrozавод им. В. В. Куйбышева (г. Москва)	ФРОС	65; 125; 250; 500; 1000	250; 320; 500; 800; 1000	См. табл. 8.25
Сглаживающие реакторы мощностью 800 — 6300 кВ·А (однострержневые малозумные)	УЭТМ (г. Свердловск)	СРОСЗ	800; 1250; 2000; 3200; 4000; 5000; 6300	800; 1250; 1600; 2000; 2500; 3200; 4200; 5000; 6320; 8000; 10 000; 12 500	См. табл. 8.26
Сглаживающие реакторы мощностью 800—6300 кВ·А (двухстрержневые)	То же	СРОС; СРОСЗ	800; 1250; 2000; 3200; 4000; 5000; 6300	800; 1250; 1600; 2000; 2500; 3200; 4000; 5000; 6300; 8000; 10 000; 12 500	См. табл. 8.28
Токоограничивающие однофазные реакторы не насыщающиеся мощностью 160—5000 кВ·А	» »	ТРОС	160; 320; 630; 1000; 1600; 2500; 5000	1000; 1600; 2500; 4000; 5000	См. табл. 8.30
Токоограничивающие трехфазные реакторы	Электрозавод им. В. В. Куйбышева (г. Москва)	РТСТ	—	20,5; 41; 82; 165; 265; 410; 660; 820	См. табл. 8.31

Таблица 8.5

Тип трансформатор	Номинальная мощность, кВт · А	Напряжение сети, В	Вентильная обмотка		Преобразователь		Потери, В		$U_K, \%$	$I_{ХХ}, \%$	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
			Напряжение, В	Ток, А	Напряжение, В	Ток, А	$P_{ХХ}$	P_{Kf3}			L	B	H	
ТСП-10/0,7-УХЛ4	7,3	380 500 660	205	20,5	230	25	130	320	4,7	16	625	305	315	85
ТСЗП-10/0,7-УХЛ4	7,3	380 500 660	205	20,5	230	25	130	320	4,7	16	665	400	360	100
ТСП-16/0,7-УХЛ4	14,6	380 500 660	205	41	230	50	140	550	5,2	10	625	305	385	120
		380 660	410	20,5	460	25								
ТСЗП-16/0,7-УХЛ4	14,6	380 660	205	41	230	50	140	550	5,2	10	665	400	430	135
		380 660	410	20,5	460	25								
ТСП-25/0,7-УХЛ4	29,1	380 500 660	205	82	230	100	210	1100	5,5	8	645	355	505	160

		380 660	410	41	460	50								
ТСЗП-25/0,7-УХЛ4	29,1	380 660	205	82	230	100	210	1100	5,5	8	685	410	550	175
		380 660	410	41	460	50								
ТСП-63/0,7-УХЛ4	58	380 500 660	205	164	230	200	330	1900	5,5	6	745	405	645	270
		380 660	410	82	460	100								
ТСЗП-63/0,7-УХЛ4	58	380 660	205	164	230	200	330	1900	5,5	6	790	450	690	290
		380 660	410	82	460	100								
ТСП-100/0,7-УХЛ4	93	380 660	205	262	230	320	440	2300	5,8	5	865	405	680	405
ТСЗП-100/0,7-УХЛ4	93	380 660	205	262	230	320				5	910	490	730	430
ТСП-125/0,7-УХЛ4	117	380 660	410	164	460	200	520	2700	5,8	4	865	405	730	450
ТСЗП-125/0,7-УХЛ4	117	380 660	410	164	460	200				4	910	490	780	480

Примечание. Здесь и далее L — ширина, B — глубина, H — высота.

Таблица 8.6

Тип трансформатора	Испол- нение	Сетевая обмотка		Вентильная обмотка		Преобразователь	
		Мощ- ность, кВ · А	Напряжение, кВ	Напряжение, В	Ток, А	Напряже- ние, В	Ток, А
ТСЗП-160/0,7УЗ	1	147	0,38	416	204	460	250
	2	143		101	816	115	1000
	3	142		315	261	345	320
	4	143		202	408	230	500
ТСЗП-250/0,7УЗ	1	230	0,38	100	1305	115	1600
	2	235		208	653	230	800
	3	235		416	326	460	400
	4	220		315	408	345	500
	5	237		267+267*	257+257*	690	315
	6	220		315	408	345	500
ТСЗП-400/10УЗ	1	402	6 (10)	569	408	660	500
	2	364		409	514	460	630
	3	351		310	653	345	800
	4	362		205	1020	230	1250
ТСЗП-630/10УЗ	1	645	6 (10)	570	652	660	800
	2	580		410	816	460	1000
	3	554		313	1020	345	1250
	4	580		205	1632	230	2000

ТСЗП-1000/10УЗ**	1 2	1007	6 (10)	712	816	825	1000
	3 4		6 (10)	570	1020	660	1250
	5 6	938	6 (10)	415	1305	460	1600
	7 8	878	6 (10)	310	1632	345	2000
	9 10	725	6 (10)	205	2040	230	2500
ТСЗП-1600/10УЗ	1	1450	6 (10)	410	2042	460	2500
	2	1612		570	1635	660	2000
	3	1621		717	1308	825	1600
ТСЗП-2500/10УЗ	1	2324	6 (10)	410	3267	460	4000
	2	1979		561	2042	660	2500
	3	2509		710	2042	825	2500
ТСЗП-4000/10УЗ	1	3220	6 (10)	570	3265	660	4000
	2	4028		570	4080	660	5000
	3	4030		712	3265	825	4000
	4	3180		902	2042	1050	2500

* Две вентиляные обмотки.

** Исполнения 1, 3, 5, 7, 9 имеют схему соединения У/Д—11, исполнения 2, 4, 6, 8, 10 — Д/Д—0.

Сухие трансформаторы мощностью от 400 до 1600 кВ·А заменяют совтоловые трансформаторы аналогичной мощности.

Трансформаторы мощностью от 10 до 250 кВ·А выпускаются в двух исполнениях: открытом (типа ТСП) — для встраивания в шкафы и защищенном (типа ТСЗП) — для возможности установки рядом со шкафами электропривода. Трансформаторы мощностью 400 кВ·А и выше выпускаются только в защищенном исполнении (типа ТСЗП).

Схема и группа соединения обмоток трансформаторов:

а) для мощности от 10 до 100 кВ·А — Д/У—11;

б) от 160 до 250 кВ·А — Д/Д—0;

в) от 400 до 630 кВ·А — У/Д—11;

г) от 1000 до 4000 кВ·А — У/Д—11 либо Д/Д—0 (по указанию в заказе).

Линейное напряжение сетевых обмоток трансформаторов мощностью от 10 до 250 кВ·А составляет 380 В (иногда 500 либо 660 В — по указанию в заказе), мощностью от 400 кВ·А и выше — 6 или 10 кВ (по указанию в заказе).

Трансформаторы мощностью свыше 400 кВ·А выполняются с ПБВ $\pm 5\%$.

Основные параметры трансформаторов мощностью от 10 до 125 кВ·А приведены в табл. 8.5.

Номинальные мощности, напряжение сетевой обмотки, напряжение и токи вентильной обмотки трансформаторов, а также токи и напряжения ТП для мощности от 160 до 4000 кВ·А даны в табл. 8.6.

Потери холостого хода ($P_{х,х}$) и короткого замыкания $P_{к,з}$, ток холостого хода $I_{х,х}$ и напряжение короткого замыкания U_k приведены в табл. 8.7.

Таблица 8.7

Тип трансформатора	Исполнение	Потери, Вт		Напряжение короткого замыкания, %	Ток холостого хода, %
		холостого хода	короткого замыкания		
ТСЗП-160/0,7УЗ	1			4,7	
	2			4,7	
	3	795	2400	4,5	5,2
	4			4,5	
ТСЗП-250/0,7УЗ	1	915	3600	4,5	3,4
	2	915	3800	4,5	3,4
	3	915	3700	4,7	3,4
	4	915	3400	4,4	3,6
	5	825	3400	4,4	3,4
	6	915	3400	4,4	3,6
ТСЗП-400/10УЗ	1		5200	5,8	
	2		4500	5,3	2,5
	3	1600	4700	5,6	2,6
	4		4700	5,3	2,5

Продолжение табл. 8.7

Тип трансформатора	Исполне- ние	Потери, Вт		Напряже- ние корот- кого за- мыкания, %	Ток холо- стого хо- да, %
		холостого хода	короткого замыкания		
ТСЗП-630/10УЗ	1	2100	6350	6,2	2
	2	2100	6000	5,9	1,8—2,2
	3	2000	5600	5,9	
	4	2000	6450	5,9	
ТСЗП-1000/10УЗ	1	2650	8400	6	1,5
	2		8400	6,1	
	3		8400	6	
	4		8400	6,1	
	5		8000	5,6	
	6		8000	5,5	
	7		8000		
	8		8000		
	9		8000	5,4	
	10		8000		
ТСЗП-1600/10УЗ	1	3400	12 500	5,5	1,1
	2		13 500	6	
	3		13 500	6	
ТСЗП-2500/10УЗ	1	4800	17 500	6,5	1
	2		14 000	5,2	
	3		19 500	6,5	
ТСЗП-4000/10УЗ	1	6400	18 000	6	1
	2		25 000	7,4	
	3		25 000	7,4	
	4		18 000	6	

Габаритные размеры и масса этих трансформаторов указаны в табл. 8.8.

Изоляция сетевых обмоток трансформаторов мощностью свыше 1600 кВ·А — терморезистивная типа «Монолит».

Для трансформаторов типа ТСЗП мощностью свыше 160 кВ·А вы-
воды сетевых и вентиляльных обмоток размещаются на торцевых (узких)

Т а б л и ц а 8.8

Тип трансформатора	Габаритные размеры, мм			Полная масса, кг
	L	B	H	
ТСЗП-160/0,7УЗ	1425	615	1040	765
ТСЗП-250/0,7УЗ	1425	615	1190	950
ТСЗП-400/10УЗ	1800* (1600)**	835	1600	1700
ТСЗП-630/10УЗ	2000* (1775)**	990	1740	2450
ТСЗП-1000/10УЗ	2200* (1970)**	990	1900	3500
ТСЗП-1600/10УЗ	2225* (2100)**	1170 (2450)***	2445	5400
ТСЗП-2500/10УЗ	2600	1270 (2080)***	2800	7450
ТСЗП-4000/10УЗ	2760	1500 (2410)***	3100	11 000

* Размер указан с кабельным подсоединением.

** То же со шкафным подсоединением.

*** То же при открытых дверях кожуха.

П р и м е ч а н и е. L — длина, B — ширина, H — высота.

сторонах кожухов трансформаторов. При этом трансформаторы изготавлиются в зависимости от расположения выводов сетевых обмоток левого (выводы сетевых обмоток слева) и правого (выводы сетевых обмоток справа) исполнений по отношению к лицевой стороне (сторона таблички технических данных). Выводы вентильных обмоток располагаются с противоположной стороны соответственно.

Для трансформаторов типа ТСП выводы располагаются на широкой части трансформаторов.

Конструкция выводов сетевых обмоток трансформаторов мощностью свыше 400 кВ·А обеспечивает возможность подсоединения либо кабеля, либо высоковольтного вводного шкафа (последнее для трансформаторов мощностью до 1600 кВ·А).

Трансформаторы имеют для передвижения жесткую опорную раму (полозья), позволяющую перемещать их при установке в любом направлении.

8.3. Совтоловые трансформаторы

Совтоловые трансформаторы имеют естественное охлаждение негорючим жидким диэлектриком (совтолом). Трансформаторы предназначены для питания ТП с трехфазной мостовой схемой выпрямления с номинальным напряжением 230, 345, 460 и 825 В и номинальным током 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200 и 4000 А.

Типовая мощность трансформаторов 400, 630, 1000 и 1600 кВ·А.

Трансформаторы соответствуют ТУ 16-517.967-77. В настоящее время они заменяются на сухие трансформаторы аналогичной мощности.

Схема и группа соединения обмоток трансформаторов:

У/Д—11 (для мощности 400 и 630 кВ·А);

Д/У—11 либо У/У—0 (по указанию в заказе для мощности 1000 кВ·А);

Д/Д—0 либо У/Д—11 (по указанию в заказе для мощности 1600 кВ·А).

Междуфазное напряжение сетевых обмоток трансформаторов составляет 6 (6,3) или 10 (10,3) кВ (в зависимости от заказа).

Трансформаторы выполняются с ПБВ $\pm 5\%$.

Номинальные мощности, напряжение сетевой обмотки, напряжение и токи вентиляльной обмотки трансформаторов, а также токи и напряжение ТП приведены в табл. 8.9. Потери холостого хода и короткого замыкания, ток холостого хода и напряжение короткого замыкания приведены в табл. 8.10.

В табл. 8.11 даны габаритные размеры трансформаторов типа ТНЗП.

Таблица 8.9

Тип трансформатора	Исполнение	Сетевая обмотка		Напряжение вентиляльной обмотки, В	Преобразователь	
		Мощность, кВ · А	Напряжение, кВ		Напряжение, В	Ток, А
ТНЗП-400/10УЗ	1	359	6 (6,3); 10 (10,5)	203	230	1250
	2	345		305	345	800
	3	362		406	460	630
	4	399		563	660	500
ТНЗП-630/10УЗ	1	457	6 (6,3); 10 (10,5)	202	230	1600
	2	532		269	300	1400
	3	435		308	345	1000
	4	571		404	460	1000
	5	457		404	460	800
	6	642		568	660	800
ТНЗП-1000/10УЗ	1	717	6 (6,3); 10 (10,5)	203	230	2500
	2	746		264	300	2000
	3	690		305	345	1600
	4	918		406	460	1600
	5	803		568	660	1000
	6	1003		710	825	1000
ТНЗП-1600/10УЗ	1	1114	6 (6,3); 10 (10,5)	202	230	4000
	2	914		202	230	3200
	3	1401		310	345	3200
	4	1095		310	345	2500
	5	1427		404	460	2500
	6	1279		566	660	1600
	7	1584		701	825	1600

Таблица 8.10

Тип трансформатора	Исполне- ние	Потери, Вт		Напряже- ние корот- кого замы- кания, %	Ток хо- лостного хода, %
		короткого замыка- ния	холостого хода		
ТНЗП-400/10УЗ	1	5300	1250	6	2,1
	2			5,6	
	3			6,7	
	4			6,3	
ТНЗП-630/10УЗ	1	6 900	1600	5	1,8
	2			4,75	
	3			4,5	
	4			5	
	5			4,75	
	6			5,3	
ТНЗП-1000/10УЗ	1	10 600	2300	5	1,4
	2			5	
	3			5	
	4			5,3	
	5			5	
	6			5,3	
ТНЗП-1600/10УЗ	1	13 600	2800	5,3	1,3
	2			4,5	
	3			5,3	
	4			5	
	5			5,3	
	6			5,3	
	7			5,6	
				—	

Выводы сетевых и вентильных обмоток размещаются на торцевых (узких) сторонах кожухов трансформаторов. При этом трансформаторы изготавливаются в зависимости от расположения выводов сетевых обмоток левого (выводы сетевых обмоток слева) и правого (выводы сетевых обмоток справа) исполнений по отношению к лицевой стороне (сторона таблички технических данных). Выводы вентильных обмоток располагаются с противоположной стороны.

Конструкция выводов сетевых обмоток обеспечивает возможность либо кабельного подсоединения, либо шинного (высоковольтного вводного шкафа).

Таблица 8.11

Тип трансформатора	Габаритные размеры, мм			Полная масса, кг
	L	B	H	
ТНЗП-400/10УЗ	2060	1180	2060	3250
ТНЗП-630/10УЗ	2060	1180	2060	4000
ТНЗП-1000/10УЗ	2360	1250	2240	5300
ТНЗП-1600/10УЗ	2580	1320	2650	8250

8.4. Масляные трансформаторы

В настоящее время выпускаются следующие серии масляных трансформаторов, используемых для схем тиристорных электроприводов:

- а) двухобмоточные трансформаторы с ПБВ;
- б) двухобмоточные трансформаторы с РПН (с одной и двумя активными частями);
- в) трансформаторы с расщепленными обмотками для перекрестных схем*;
- г) трехобмоточные трансформаторы.

Масляные трансформаторы имеют такие конструкции, в которых соединение сетевых обмоток в звезду и треугольник выполняется внутри бака. На крышке бака трансформатора размещены три ввода сетевых обмоток (для трансформаторов с двумя активными частями — шесть вводов сетевых обмоток). Число вводов вентиляных обмоток зависит от типа трансформатора и его мощности. Все вводы разборного типа с механическим креплением.

Каждый трансформатор снабжен расширителем, сообщающимся с атмосферой через воздухоочиститель; контрольными устройствами — маслоуказателем, реле газовой защиты, термометром манометрическим; термосифонным фильтром для очистки и регенерации трансформаторного масла; арматурой для заливки и доливки масла и присоединения фильтра-пресса; краном для взятия пробы масла. Трансформаторы с РПН снабжены также съемным механизмом для подъема контактора переключающего устройства.

Трансформаторы с дутьевым охлаждением (мощностью 8000 кВ·А и выше) снабжены шкафом автоматического управления дутьем, который управляет системой охлаждения в зависимости от теплового режима и нагрузки трансформаторов. Шкаф управления устанавливают на

* Эти трансформаторы не находят широкого применения для электроприводов и поэтому здесь не рассматриваются.

баке трансформатора. Питание системы охлаждения осуществляется от трехфазной сети 380 В с нулевым проводом. Потребляемая системой охлаждения мощность — не более 2,5 кВт (для трансформаторов с двумя активными частями в одном баке).

Трансформаторы снабжены катками с ребордой, укрепленными на поворотных каретках и позволяющими осуществить поперечное или продольное передвижение трансформаторов по колею 1524 мм.

Трансформаторы предназначены для работы в установках с перенапряжениями на стороне ТП, не превышающими 2800 В. В связи с этим защита вентильных обмоток разрядниками не требуется.

В трансформаторах на выпрямленное напряжение 460 и 660 В вентильные обмотки должны быть защищены пробивными предохранителями от появления в них высокого потенциала в случае пробоя с сетевой обмотки на вентильную. Пробивные предохранители входят в комплект поставки масляных трансформаторов.

8.4.1. Двухобмоточные масляные трансформаторы с ПБВ

Трансформаторы предназначены для питания ТП с трехфазной мостовой схемой при выпрямленном напряжении 460, 660 и 1050 В и выпрямленном токе 2500, 4000, 5000, 6300 и 8000 А.

Типовая мощность трансформаторов: 2500, 4000, 6300 и 10 000 кВ·А (для электроприводов, выполненных по 6-импульсной схеме, трансформаторы мощностью 10 000 кВ·А обычно не используются).

Трансформаторы соответствуют ГОСТ 23733-79.

Схема и группа соединения обмоток трансформаторов: У/Д—11 либо Д/Д—0 (по указанию в заказе).

Линейное напряжение сетевых обмоток трансформаторов мощностью до 6300 кВ·А составляет 6 или 10 кВ (по указанию в заказе); при мощности 10 000 кВ·А оно равно 10 кВ.

Номинальные мощности, напряжения сетевой обмотки, напряжения и токи вентильной обмотки трансформаторов, а также токи и напряжения ТП приведены в табл. 8.12. Потери холостого хода и короткого замыкания, ток холостого хода, напряжение короткого замыкания трансформаторов указаны в табл. 8.13.

В табл. 8.14 приведены габаритные размеры трансформаторов типов ТМП, ТДП.

8.4.2. Двухобмоточные трансформаторы с РПН

Трансформаторы предназначены для питания ТП, выполненных по трехфазной мостовой схеме (6-пульсная схема), при выпрямленном напряжении 660, 825 и 1050 В и выпрямленном токе 2500, 4000 и 6300 А и для питания ТП с двумя трехфазными мостовыми схемами, соединенными параллельно (12-пульсная схема), при выпрямленном напряжении 660, 820 и 1050 В и общем выпрямленном токе 2500, 4000, 5000, 6300, 8000, 10 000 и 12 500 А.

Трансформаторы серий ТМНП, ТДНП изготавливают с одной активной частью на типовую мощность 4000, 6300 и 10 000 кВ·А. Трансформаторы серий ТМНПД, ТДНПД выполняют с двумя активными частями в одном баке на типовую мощность 5000, 8000, 12 500 и 20 000 кВ·А. Вентильная обмотка каждой активной части таких трансформаторов

Таблица 8.12

Тип трансформатора	Исполнение	Сетевая обмотка		Вентильная обмотка		Преобразователь	
		Мощность, кВт · А	Напряжение, кВ	Напряжение, В	Ток, А	Напряжение, В	Ток, А
ТМП-2500/10У2	1, 2 3, 4	2300	6 10	406	3270	460	4000
	5, 6 7, 8	2040	6 10	577	2040	660	2500
	9, 10 11, 12	2510	6 10	711		825	
ТМП-4000/10У2	1, 2 3, 4	4040	6 10	572	4080	660	5000
	5, 6 7, 8	3230	6 10		3270		825
	9, 10 11, 12	4050	6 10	716			
	13, 14 15, 16	3230	6 10	915	2040	1050	2500
ТМП-6300/10У2	1, 2 3, 4	5030	6 10	565	5140	660	6300
	5, 7 7, 8	6280	6 10	706		825	
	9, 10 11, 12	4990	6 10		4080		5000
	13, 14 15, 16	6360	6 10	900		1050	
	17, 18 19, 20	5090	6 10		3270		
ТДП-10000/10У2	1	7980	10	896	5140	1050	6300
	2	8020		900			
	3	10 130		896	6530		8000
	4	10 170		900			

Таблица 8.13

Тип трансформатора	Исполнение	Потери, Вт		Напряжения короткого замыкания, В	Ток холостого хода, %
		холостого хода	короткого замыкания		
ТМП-2500/10У2	1—4	4500	21 600	7,3	1,4
	5, 6	4500	15 500	5,7	1,5
	7, 8	4950	15 500	5,8	1,5
	9—12	4950	22 000	7	1,4
ТМП-4000/10У2	1 2 3, 4	7100	30 500	7,3 7,5 7,6	1
	5 6, 7 8		20 300	5,9 6 6,2	1,3
	9—12	6700	31 600	8,1	1
	13	6700	19 500	5,6	1,3
	14—16	6700	19 500	5,9	1,3
ТМП-6300/10У2	1 2 3, 4	9700	33 600	6,5 6,3 6,1	1,1
	5 6, 7 8		43 800	8,1 7,9 7,7	0,9
	9 10, 11 12		28 500	6,4 6,3 6,1	1,1
	13 14 15 16	9400	44 800 44 800 45 700 44 800	8,5 8,3 8,3 8,1	0,8
	17 18 19 20	9400	30 000	6,8 6,6 6,6 6,5	1
ТДП-10000/10У2	1 2 3 4	13 500	39 000 39 000 63 330 63 330	6,1 7,7	1 0,8

Таблица 8.14

Тип трансформатора	Габаритные размеры, мм			Полная масса, кг
	H	L	B	
ТМП-2500/10У2	3600	2850	1880	9400
ТМП-4000/10У2	3600	3000	2550	12 300
ТМП-6300/10У2	4200	3100	2650	18 000
ТДП-10000/10У2	4600	3600	3600	26 000

рассчитана на полное напряжение и половину номинального тока ТП (2500 : 2, 4000 : 2; 5000 : 2; 6300 : 2; 8000 : 2; 10 000 : 2; 12 500 : 2 А). Трансформаторы соответствуют ГОСТ 23733-79.

Встроенное устройство РПН обеспечивает возможность уменьшения напряжения вентильных обмоток на 40 % номинального при номинальном напряжении сети, а также компенсацию изменения напряжения питающей сети в пределах $\pm 5\%$. Число ответвлений сетевой обмотки равно 10. Положение переключателя, соответствующее номинальному напряжению ТП при номинальном напряжении сети, 9.

Трансформаторы рассчитаны на работу при номинальном токе ТП во всем диапазоне регулирования. Величина ступени регулирования не более 7 % номинального напряжения вентильной обмотки.

Устройство РПН допускает ручное, дистанционное и автоматическое управление. Для трансформаторов с двумя активными частями обеспечивается раздельная и одновременная работа приводных механизмов устройства РПН (по указанию в заказе). Питание приводных механизмов устройства РПН от сети трехфазного тока напряжением 380 В с нулем частотой 50 Гц.

В приводных механических устройствах РПН установлено по три сельсина-датчика: один — для дистанционной передачи положения переключателя, два — для коррекции напряжения вентильной обмотки.

Схема и группа соединения обмоток трансформаторов:

а) для трансформаторов с одной активной частью: Д/Д—0 либо У/Д—11 (или Д/У—11 в зависимости от мощности) — по указанию в заказе;

б) для трансформаторов с двумя активными частями: Д/Д —0 на одной активной части и У/Д—11 на другой активной части.

Линейное напряжение сетевых обмоток трансформаторов мощностью до 8000 кВ·А составляет 6 или 10 кВ (по указанию в заказе), мощностью 10 000 кВ·А и выше оно равно 10 кВ.

Номинальные мощности, напряжение сетевой обмотки, напряжение и токи вентильной обмотки для каждой из активных частей, схемы и группы соединения обмоток трансформаторов, а также токи и напряжение преобразователей приведены в табл. 8.15 (для трансформаторов с одной активной частью) и 8.16 (для трансформаторов с двумя активными частями). Потери холостого хода и короткого замыкания, ток холостого хода, напряжение короткого замыкания трансформаторов даны в табл. 8.17.

В табл. 8.18 указаны габаритные размеры трансформаторов типов ТМНП и ТМНПД (ТДНП и ТДНПД).

Таблица 8.15

Тип трансформатора	Исполнение	Сетевая обмотка		Емкостная обмотка		Схема и группа соединения обмоток	Преобразовательный агрегат	
		Мощность, кВ·А	Напряжение, кВ	Напряжение, В	Ток, А		Напряжение, В	Ток, А
ТМНП-4000/10У2	1	3220	6	568	3270	Д/Д—0	660	4000
	2		10			Д/Д—0		
	3		6			У/Д—11		
	4		10			У/Д—11		
	5	2540	6	720	2040	Д/Д—0	825	2500
	6	2520	10	712		Д/Д—0		
	7	2540	6	720		У/Д—11		
	8	2520	10	712		У/Д—11		
	9	3220	6	910	1050	Д/Д—0		
	10	3220	10	910		Д/Д—0		
	11	3220	6	910		У/Д—11		
	12	3220	10	910		У/Д—11		
ТМНП-6300/10У2	1	5090	6	571	5140	Д/Д—0	660	6300
	2	5090	10			Д/Д—0		
	3	5090	10			У/Д—11		
	4	4040	6		4080	Д/Д—0		5000
	5	4040	10			Д/Д—0		
	6	4040	10			У/Д—11		
	7	5090	6	720	825	Д/Д—0		
	8	5030	10	712		Д/Д—0		
	9	5030	6	712		Д/У—11		
	10	5030	10	712		У/Д—11		

Продолжение табл. 8.15

Тип трансформатора	Исполнение	Сетевая обмотка		Вентильная обмотка		Схема и группа соединения обмоток	Преобразовательный агрегат	
		Мощность, кВ·А	Напряжение, кВ	Напряжение, В	Ток, А		Напряжение, В	Ток, А
ТМНП-6300/10У2	11	4070	6	720	3270	Д/Д—0	825	5000
	12	4030	10	712		Д/Д—0		—
	13	4030	6	712		Д/У—11		—
	14	4030	10	712		У/Д—11		—
	15	5050	6	893	3270	Д/Д—0	1050	4000
	16	5050	10			Д/Д—0		
	17	5050	6			Д/У—11		
	18	5050	10			У/Д—11		
	19	3800	6	428	5140	Д/Д/0	460	6300
	20	3800	10			У/Д—11		
	21	3800	6			Д/Д/0		
	22	3800	10			У/Д—11		
ТДНП-10000/10У2	1	6330	10	711	5140	Д/Д—0	825	6300
	2	6260		703		Д/У—11		
	3	8050		905	5140	Д/Д—0	1050	—
	4					Д/У—11		
	5	6390		905	4080	Д/Д—0	1050	5000
	6					Д/У—11		

Таблица 8.16

Тип трансформатора	Исполнение	Сетевая обмотка		Вентильная обмотка		Схема и группа соединения обмоток	Преобразователь			
		Мощность, кВт·А	Напряжение, кВ	Напряжение, В	Ток, А		Напряжение, В	Ток, А	Соединение ТП	
ТМНПД-5000/10У2	1	2030	6	574	2040	Д/Д—0; У/Д—11	660	5000	Параллельное	
	2		10							
	3	2000	6	706	1630		825	4000		
	4		10							
	5	1580	6	893	1020		1050	2500		
	6		10							
ТДНПД-8000/10У2	1	3220	6	568	3270	Д/Д—0; У/Д—11	660	8000	То же	
	2	3220	10	568	3270		660	8000		
	3	2540	6	568	2570		660	6300		
	4	2540	10	568	2570		660	6300		
	5	3200	6	720	2570		825	6300		
	6	3170	10	712	2570		825	6300		
	7	2540	6	720	2040		825	5000		
	8	2520	10	712	2040		825	5000		
	9	3220	6	910	2040		1050	5000		
	10	3220	10	910	2040		1050	5000		

ТДНПД-12500/10У2

1	4370	6	309	8160	Д/У—11; Д/Д—0	660	10 000	Последовательное
	4030	6	285					
2	4370	10	309					
	4030	10	285					
3	4040	10	571	4080	У/Д—11; Д/Д—0			
4	5090	6	720	4080	Д/Д—0	825	10 000	Параллельное
	5040		712		Д/У—11			
5	5030	10	712		Д/Д—0;			
	5040		713		У/Д—11			
6	4070	6	720	3270	Д/Д—0;		8000	
	4030		712		Д/У—11			
7	4030	10	712	3270	Д/Д—0; У/Д—11			

Тип трансформатора	Исполнение	Сетевая обмотка		Вентильная обмотка		Схема и группа соединения обмоток	Преобразователь		
		Мощность, кВт·А	Напряжение, кВ	Напряжение, В	Ток, А		Напряжение, В	Ток, А	Соединение ТП
ТДНПД-12500/10У2	8	5050	6	893	3270	Д/Д—0; Д/У—11	1050	8000	Параллельное
	9	5050 5060	10	894		Д/Д—0; У/Д—11			
	10	3980	6	893	2570	Д/Д—0; Д/У—11		6300	
	11		10			Д/Д—0; У/Д—11			
ТДНПД-20000/10У2	1	6280 6210	10	711 713	5140	Д/Д—0; Д/У—11	825	12 500	
	2	7990		905			1050		
	3	6390			4080			10 000	

Таблица 8.17

Тип трансформатора	Исполнение	Потери, Вт		Ток холостого хода, %	Напряжение короткого замыкания, %
		холостого хода	короткого замыкания		
ТМПП-4000/10У2	1	7500	27 000	1,3	7,8
	2			1,3	7,8
	3			1,3	7,8
	4			1,3	7,7
	5	6900	17 700	1,4	6,3
	6	6600		1,3	6,4
	7	6900		1,4	6,3
	8	6600		1,3	6,4
	9	7500	27 000	1,3	7,6
	10				
	11				
	12				
ТМПП-6300/10У2	1	10 800	39 000	1,25	7,8
	2				7,7
	3				7,7
	4		24 500	1,55	6,2
	5		24 500	1,55	6,2
	6		27 000	1,55	6,1
	7	9500	42 000	0,95	8,5
	8	10 800	39 000	1,25	7,6
	9	9500	42 000	0,95	8,4
	10	10 800	39 000	1,25	7,6
	11	9500	27 000	1,25	6,8
	12	10 800	24 500	1,55	6,1
	13	9500	27 000	1,25	6,7
	14	10 200	24 500	1,55	6,1
	15	9500	39 000	0,95	8,2
	16	9500	39 000		8,1
	17	9500	42 000		8,4
	18	9500	39 000		8,2
	19	10 800	34 500	1,55	6,3
	20				
	21				
	22				

Продолжение табл. 8.17

Тип трансформатора	Исполнение	Потери, Вт		Ток холостого хода, %	Напряжения короткого замыкания, %
		холостого хода	короткого замыкания		
ТДНП-10000/10У2	1	14 800	39 000	1,5	5,6 5,5
	2				
	3	12 500	58 000	0,75	8,2 8,1
	4				
	5		39 000	0,95	6,5 6,5
	6				
ТМНПД-5000/10У2	1	10 800	39 500	1,5	7,5
	2		39 500	1,5	7,5
	3		36 000	1,5	7,2
	4	11 300	36 000	1,5	7,2
	5		28 300	2,1	5,6
	6		28 300	2,1	5,6
ТДНПД-8000/10У2	1	14 300	54 000	1,3	7,8
	2				
	3	14 300	36 500	1,65	6,1
	4				
	5	14 000	54 000	1,1	8,1
	6	13 500	54 000	1	8,2
	7	14 000	35 000	1,4	6,5
	8	13 500	35 000	1,3	6,5
	9	15 000	54 000	1,3	7,6
	10	15 000	54 000	1,3	7,6
ТДНПД-12500/10У2	1	21 500	84 000	1,5	6,1—6,7
	2	21 500	84 000	1,5	6,1—6,6
	3	21 500	53 000	1,6	6,1
	4	19 300	85 000	0,95	8,1—8,5
	5	21 500	78 000	1,2	7,6
	6	19 300	54 000	1,2	6,5—6,8
	7	21 500	49 000	1,5	6,1
	8	19 300	78 000	0,95	8,3
	9	19 300	78 000	0,95	8,2
	10	19 300	49 000	1,2	6,5
	11	19 300	49 000	1,2	6,5

Продолжение табл. 8.17

Тип трансформатора	Исполнение	Потери, Вт		Ток холостого хода	Напряжение короткого замыкания, %
		холостого хода	короткого замыкания		
ТДНПД-20000/10У2	1	29 500	78 000	1,5	5,5
	2	25 000	116 000	0,75	8,1
	3	25 000	78 000	0,95	6,5

Т а б л и ц а 8.18

Тип трансформатора	Габаритные размеры, мм			Масса, кг	
	L	B	H	масла	полная
ТМНП-4000/10У2	3850	2650	4050	5600	17 000
ТМНП-6300/10У2	3900	2850	4200	7000	22 500
ТДНП-10000/10У2	4500	3300	4800	9500	29 000
ТМНПД-5000/10У2	4000	3900	4100	10 500	28 000
ТДНПД-8000/10У2	4000	4500	4200	11 100	31 000
ТДНПД-12500/10У2	4500	4700	4600	15 400	45 000
ТДНПД-20000/10У2	4800	4860	5000	17 850	56 000

Для трансформаторов с одной активной частью на крышку выводят не менее трех вводов сетевой обмотки и трех вводов вентильной обмотки (для трансформаторов ТМНП-4000/10У2 и ТМНП-6300/10У2 — по шесть вводов вентильной обмотки); для трансформаторов с двумя активными частями — не менее шести вводов сетевых обмоток и шести вводов вентильных обмоток; (для трансформатора ТДНПД-8000/10У2 и некоторых исполнений ТДНПД-125000/10У2 — по двенадцать вводов вентильных обмоток).

8.4.3. Трехобмоточные трансформаторы

Трансформаторы серий ТМТП, ТДТП, ТРДТП предназначены для питания ТП электроприводов постоянного тока при соединении преобразовательных мостов по 12-пульсной схеме. Трансформаторы выпускают вместо двухобмоточных трансформаторов с ПБВ с двумя активными частями (серий ТМПД, ТДПД) и трансформаторов с расщепленными обмотками с двумя активными частями для противоположных и перекрестных схем (серии ТРДПД).

Трансформаторы предназначены для питания ТП при выпрямленном напряжении 660, 825 и 1050 В и выпрямленном токе 2×1250 , 2×2000 , 2×2500 , 2×3200 , 2×4000 , 2×5000 (4×2500), 2×6300 (4×3200), 2×8000 (4×4000), $2 \times 10\,000$ (4×5000), 4×5000 (4×6300) А.

Трансформаторы серий ТМТП, ТДТП служат для питания двух мостовых схем (каждая от одной вентильной обмотки), включенных параллельно и обеспечивающих 12-фазный режим выпрямления. Каждая вентильная обмотка рассчитана на полное напряжение и половину номинального тока ТП, а сетевая обмотка — на одновременную работу обеих вентильных обмоток. Эти трансформаторы могут использоваться и для двухдвигательных электроприводов, где в каждом электроприводе ТП выполнен по 6-пульсной схеме.

Трансформаторы серии ТРДТП имеют исполнения для противоположных и перекрестных схем реверсивных ТП.

Трансформаторы для противоположных схем могут питать четыре мостовые схемы (каждая от своей вентильной обмотки) или две мостовые схемы (каждая от двух параллельно соединенных вентильных обмоток с одинаковой схемой соединения) при 12-пульсной схеме выпрямления.

Сетевая обмотка у этих трансформаторов рассчитана на одновременную работу всех вентильных обмоток. Трансформаторы ТРДТП могут использоваться для двухдвигательных электроприводов, в которых каждый электропривод имеет ТП, выполненный по 6-пульсной схеме.

Трансформаторы для перекрестных схем* предназначены для питания реверсивных ТП, в которых группы «Вперед» и «Назад» подключены каждая к своей вентильной обмотке, при этом каждая схема («Вперед» и «Назад») выполняется по 12-пульсной схеме выпрямления. Сетевая обмотка рассчитана на неодновременную длительную работу всех вентильных обмоток.

Трансформаторы серий ТМТП, ТДТП выполняются на типовую мощность 3200, 5000 и 8000 кВ·А, трансформаторы серии ТРДТП для про-

* Эти трансформаторы не находят широкого применения в комплектных тиристорных электроприводах; в типе этих трансформаторов после класса напряжения приведена буква Р.

тивопараллельных схем — на мощности 12 500, 20 000 и 32 000 кВ·А, трансформаторы ТРДТП для перекрестных схем — на мощности 8000, 12 500, 20 000 и 25 000 кВ·А.

Схема и группа соединения обмоток трансформаторов:

а) серий ТМТП, ТДТП — Д/ДУ—0—11 (при напряжении сети 6 кВ) и У/ДУ—1—0 (при напряжении сети 10 кВ), ТУ 16-717.120-82;

б) серии ТРДТП (без буквы Р): ТРДТП-12500/10 — Д/ДДУУ—0—11 (при 6 кВ) или У/ДДУУ—1—0 (при 10 кВ), ТРДТП-20000/10 и ТРДТП-32000/10 — Д/ДДУУ—0—11, ТУ 16-717.122-82;

в) серии ТРДТП (с буквой Р): ТРДТП-8000/10Р и ТРДТП-12500/10Р — Д/УУДД—11—0 (при 6 кВ) и У/УУДД—0—1 (при 10 кВ), ТРДТП-2000/10Р, ТРДТП-25000/10Р — Д/УУДД—11—0, ТУ 16-717.123-82.

Номинальные мощности, напряжения сетевой обмотки, напряжение и токи вентиляльных обмоток, схемы и группы соединения обмоток трансформаторов, а также токи и напряжение ТП приведены в табл. 8.19. Потери холостого хода и короткого замыкания, ток холостого хода и различные напряжения короткого замыкания трансформаторов указаны в табл. 8.20—8.23.

Указанные в табл. 8.20, 8.22 и 8.23 напряжения короткого замыкания характеризуются следующим образом. Напряжение короткого замыкания $s_{кв}$ в z н о е — междуфазное напряжение (линейное), которое должно быть приложено к выводам сетевой обмотки трансформатора, чтобы в ней установился номинальный ток при замкнутых накоротко всех вентиляльных обмотках. Напряжение короткого замыкания $с а с т и ч н о е$ — междуфазное напряжение, которое должно быть приложено к выводам сетевой обмотки трансформатора, чтобы в ней установился номинальный ток при замкнутой накоротко одной вентиляльной обмотке и разомкнутых остальных обмотках.

Напряжение короткого замыкания $к о м м у т а ц и и$ — междуфазное напряжение, которое должно быть приложено к выводам сетевой обмотки трансформатора, чтобы в ней установился номинальный ток при замкнутых вентиляльных обмотках с одинаковой схемой соединения, одновременно участвующих в коммутации в номинальном режиме, и разомкнутых остальных обмотках.

Напряжение короткого замыкания $р а с ш е п л е н и я$ — напряжение, которое должно быть приложено к одной из вентиляльных обмоток, чтобы в ней установился ток, соответствующий номинальной мощности сетевой обмотки при замкнутой накоротко другой обмотке и разомкнутой сетевой обмотке.

Напряжение короткого замыкания $г р у п п о в о е$ (для трансформаторов ТРДТП) — напряжение, которое нужно подвести к вентиляльным обмоткам, одновременно участвующим в коммутации в номинальном режиме, чтобы в них установился ток, соответствующий номинальной мощности сетевой обмотки при замкнутых накоротко всех других вентиляльных обмотках и разомкнутой сетевой обмотке.

Напряжение короткого замыкания $д в у х ч а с т е й с р а з н о й с х е м о й$ соединения — междуфазное напряжение, которое должно быть приложено к выводам сетевой обмотки трансформатора типа ТРДТП, чтобы в ней установился номинальный ток при замкнутых накоротко двух вентиляльных обмотках с разной схемой соединения и разомкнутых остальных обмотках.

Таблица 8.19

Тип трансформатора	Исполнение	Сетевая обмотка		Вентильная обмотка		Преобразователь				
		Мощность, кВт·А	Напряжение, кВ	Напряжение, В	Ток, А	Напряжение, В	Ток, А			
ТМТП-3200/10У2	1	3120	6	570	2×1633	660	2×2000			
	2		10							
	3	2430	6	711 715	2×1020	825	2×1250			
	4		10							
	5	3080	6	900		1050				
	6		10							
ТМТП-5000/10У2	1	4920	6	572	2×2570	660	2×3200			
	2		10							
	3	3900	6	566	2×2040		825	2×2500		
	4		0							
	5	4850	6	10		2×1633			1050	2×2000
	6		10							
	7	3880	6		900					
	8		10							
	9	4920	6	900						
	10		10							
ТДТП-8000/10У2	1	7760	6	712	2×3270	825	2×4000			
	2		10							
	3	6110	6	705	2×2570		1050	2×3200		
	4		10							
	5	7750	6	900		2×2040			2×2500	
	6		10							
	7	6150	6		900					
	8		10							

Продолжение табл. 8.19

Тип трансформатора	Исполнение	Сетевая обмотка		Вентиляционная обмотка		Преобразователь	
		Мощность, кВт·А	Напряжение, кВ	Напряжение, В	Ток, А	Напряжение, В	Ток, А
ТРДТП-12500/10У2	1 2	12 260	6 10	709	4×2570	825	4×3200 2×6300
	3 4	9730	6 10	702	4×2040		4×2500
	5 6	12 280	6 10	899		4×1630	1050
	7 8	9830	6 10		4×2000 2×4000		
ТРДТП-20000/10У2	1 2	19 500 15 600	10	710	4×4080	825	4×5000 2×10000
	3 4*	19 700 19 700		900	4×3270	1050	4×4000 2×8000
	5	15 500			4×2570		4×3200 2×6300
ТРДТП-32000/10У2	1 2	30 780 24 430	10	896	4×5140 4×4080	1050	4×6300 4×5000
ТРДТП-8000/10РУ2	1 2	5580	6 10	743	2×2250	825	2×2500
ТРДТП-12500/10РУ2	1 2	8500	6 10	743 741	2×3600	825	2×4000
	3 4	7160	6 10	940 950	2×2250	1050	2×2500
ТРДТП-20000/10РУ2	1 2	14 200 11 300	10	732 751	2×5660 2×4490	825	2×6300 2×5000
	3 4	14 200 11 400		950 950	2×4490 2×3600	1050	2×5000 2×4000
ТРДТП-25000/10РУ2	1	17 980	10	950	2×5660	1050	2×6300

* Схема соединения обмоток Д/ДДДД—0.

Таблица 8.20

Тип трансформатора	Исполнение	Потери, Вт		Напряжение короткого замыкания, %			Ток холостого хода, %
		холостого хода	короткого замыкания	частичное	сквозное	расщепления	
ТМТП-3200/10У2	1,2	5450	35 000	12,4	5,7	26,8	0,9
	3,4	5450	28 000	11,5	5,4	24,7	1,2
	5,6	5800	35 000	12,0	5,5	26	1,1
ТМТП-5000/10У2	1,2	7000	49 000	13,7	6,6	28,5	0,75
	3,4		40 000	13,0	6	29	0,9
	5,6		48 100	13,7	6,6	28,5	0,75
	7,8		40 000	13,0	6	29	0,9
	9, 10		44 000	13,9	6,6	29,2	0,75
ТДТП-8000/10У2	1,2	9800	67 000	14,0	6,3	30,8	0,9
	3,4		55 000	13,3	6,1	29,3	1,1
	5,6 7,8	10 200	62 500 51 000	13,5 13,0	6 6	30 28,4	1 1,2

Таблица 8.21

Тип трансформатора	Исполнение	Потери, Вт		Ток холостого хода, %
		холостого хода	короткого замыкания	
ТРДТП-12500/10У2	1	11 000	116 000	0,6
	2		116 000	0,6
	3		73 000	0,8
	4		73 000	0,8
	5	11 500	102 000	0,6
	6		102 000	0,6
	7		65 000	0,9
	8		65 000	0,9
ТРДТП-20000/10У2	1	18 500	143 000	0,5
	2	18 500	100 000	0,5
	3	23 500	130 000	1
	4	23 500	130 000	1
	5	23 500	85 000	1,3
ТРДТП-32000/10У2	1	29 000	195 000	0,6
	2	29 000	155 000	0,7

Таблица 8.22

Тип трансформатора	Исполнение	Напряжение короткого замыкания, %					
		сквозного	коммутации	частичного	двух частей с разной схемой соединения	расщепления	расщепления группового
ТРДТП-12500/10У2	1, 2	$\frac{7,4}{7,4}$	$\frac{17,1}{17,1}$	$\frac{29,6}{17,1}$	$\frac{13,3}{7,4}$	$\frac{(50)}{(65,2)}$	38,8
	3, 4	$\frac{5,9}{5,9}$	$\frac{13,6}{13,6}$	$\frac{23,6}{13,6}$	$\frac{10,6}{5,9}$	$\frac{(40)}{(52)}$	30,8
	5, 6	$\frac{7,4}{7,4}$	$\frac{16,4}{16,4}$	$\frac{28}{16,4}$	$\frac{12,6}{7,4}$	$\frac{(46,4)}{(61,6)}$	37,6
	7, 8	$\frac{5,6}{5,6}$	$\frac{13}{13}$	$\frac{22,4}{13}$	$\frac{10,1}{5,6}$	$\frac{(37,6)}{(49,2)}$	29,6
	1	$\frac{8,5}{8,5}$	$\frac{18,8}{18,8}$	$\frac{33,7}{18,8}$	$\frac{15,2}{8,1}$	$\frac{(59,5)}{(70)}$	41,5
ТРДТП-20000/10У2	2	$\frac{6,8}{6,8}$	$\frac{15,1}{15,1}$	$\frac{27}{15,1}$	$\frac{12,1}{6,8}$	$\frac{(48)}{(59,5)}$	33,5
	3	$\frac{6,9}{6,9}$	$\frac{15,6}{15,6}$	$\frac{27,5}{15,6}$	$\frac{12,4}{6,9}$	$\frac{(47,5)}{(60,5)}$	35
	4	$\frac{6,9}{—}$	$\frac{6,9}{—}$	$\frac{27,5}{—}$	$—$	$\frac{(47,5)}{(60,5)}$	—
	5	$\frac{5,5}{5,5}$	$\frac{12,3}{12,3}$	$\frac{21,6}{12,3}$	$\frac{9,8}{5,5}$	$\frac{(37,5)}{(47,5)}$	27,5
	1	$\frac{13,5}{13,5}$	$\frac{14}{14}$	$\frac{29}{29}$	$\frac{29}{29}$	$\frac{(64)}{(0,5)}$	0,2
ТРДТП-32000/10У2	2	11	11,5	24	24	$\frac{(52)}{(0,5)}$	0,2

Примечания: 1. В числителе дроби указано напряжение короткого замыкания при схеме частей вентиляльной обмотки ДДУУ, в знаменателе — при параллельном соединении частей вентиляльной обмотки с одинаковой схемой соединения.

2. В числителе в скобках указано напряжение короткого замыкания между частями, имеющими одинаковую схему соединения, в знаменателе в скобках — разные схемы.

Таблица 8.23

Тип трансформатора	Исполнение	Потери, Вт		Напряжение короткого замыкания, %			Ток холостого хода, %
		холостого хода	короткого замыкания	частичное	двух частей с разной схемой соединения	расщепления	
ТРДТП-8000/10РУ2	1 2	8 800	55 000 57 000	14,9	7,0	31,6	1,1
ТРДТП-12500/10РУ2	1 2	13 000	93 000	15,2	6,8	32	1
	3 4	12 000	75 000	12,8	5,8	28,4	1,1
ТРДТП-20000/10РУ2	1 2	15 000	119 000 76 000	15,3 12,1	7,3 5,8	32 25,4	0,6 0,75
	3 4	18 000	116 000 75 000	16 12,8	7,6 6,1	33,6 26,9	0,9 1,1
ТРДТП-25000/10РУ2	1	19 000	140 000	14,8	7	31,2	0,7

В табл. 8.24 приведены габаритные размеры трансформаторов типов ТМТП и ТРДТП.

На крышки трансформаторов выведены три ввода сетевых обмоток и шесть (для серий ТМТП, ТДТП) либо двенадцать (для серии ТРДТП) вводов вентильных обмоток.

Таблица 8.24

Тип трансформатора	Габаритные размеры, мм			Полная масса, кг
	L	B	H	
ТМТП-3200/10У2	3000	2500	3800	12 500
ТМТП-5000/10У2	3450	2550	3800	16 200
ТДТП-8000/10У2	3460	3400	3600	18 000
ТРДТП-12500/10У2	3800	3540	4750	28 600
ТРДТП-20000/10У2	4500	4000	4950	42 500
ТРДТП-32000/10У2	4700	4400	6000	60 000
ТРДТП-8000/10РУ2	3550	3500	4000	20 000
ТРДТП-12500/10РУ2	3900	3600	4900	28 500
ТРДТП-20000/10РУ2	4400	4000	5900	46 000
ТРДТП-25000/10РУ2	4400	4000	6200	50 000

8.5. Сглаживающие реакторы

Сглаживающие реакторы серий ФРОС, СРОС, СРОСЗ, ТРОС включают на стороне выпрямленного тока ТП и выбирают из условия ограничения пульсаций тока значением, допустимым для конкретного двигателя.

Обозначение типов сглаживающих реакторов содержит следующие данные: С (или Ф, или Т) — назначение реактора (С — сглаживающий, Ф — фильтровый, Т — токоограничивающий); Р — наименование изделия (реактор); О — число фаз (однофазный); С (или СЗ) — обозначение вида охлаждения (С — естественное воздушное при открытом исполнении, СЗ — естественное воздушное при защищенном исполнении); через тире приводится типовая мощность в киловольт-амперах, после дробной черты — класс напряжения, кВ (только для реакторов серии ФРОС); У4 (УХЛ4) — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

Сглаживающие реакторы, используемые в электроприводе, изготавливаются со стальным сердечником (серий ФРОС, СРОС, СРОСЗ) и без него (ТРОС).

Реакторы со стальным сердечником могут быть одностержневые (серий ФРОС и СРОСЗ) и двухстержневые (серии СРОС). Ранее использовались реакторы двухстержневые, представляющие собой обмотку, намотанную на П-образный стальной сердечник. В настоящее время для комплектиных тиристорных электроприводов используются реакторы одностержневые серии ФРОС типовой мощностью до 1000 кВ·А и серии СРОСЗ типовой мощностью до 6300 кВ·А.

Одностержневые реакторы серии ФРОС соответствуют ТУ 16-527.021-83 и рассчитаны для длительной работы в цепи выпрямленного тока со значением выпрямленного напряжения не выше 500 В. Они выпускаются на номинальный ток 250, 320, 500, 800 и 1000 А и номинальную индуктивность соответственно 6,5 (1,5); 4,2 (1,0); 3,25 (0,75); 5,0 (2,3; 0,6); 1,6 (0,35) мГн. Типовая мощность реакторов 65, 125, 250, 500 и 1000 кВ·А.

Основные данные реакторов серии ФРОС приведены в табл. 8.25.

Реакторы серии ФРОС выпускаются в открытом исполнении и размещаются в шкафу электропривода. Реакторы допускают кратковременное протекание тока, линейно нарастающего от нуля до трехкратного значения номинального, в течение 0,05 с. При этом индуктивность реактора изменяется не более чем на 10 % номинальной. Нагревостойкость изоляции обмотки реактора соответствует классу Н по ГОСТ 8865-70.

Одностержневые реакторы серии СРОСЗ (малошумные) соответствуют ТУ 16-527.268-82 и предназначены для работы в схемах ТП на напряжение до 1050 В. Они выпускаются на номинальный ток 800, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200, 4000, 5000, 6300, 8000, 10 000 и 12 500 А и номинальную индуктивность соответственно 2; 0,8 (1,28); 0,5; 0,48 (0,8); 0,2 (0,32); 0,32 (0,5); 0,12 (0,2; 0,7); 0,32; 0,08 (0,125; 0,24); 0,1; 0,08; 0,06 мГн.

Типовая мощность реакторов 800, 1250, 2000, 3200, 4000, 5000 и 6300 кВ·А. Основные данные реакторов серии СРОСЗ приведены в табл. 8.26, габаритные размеры и масса — в табл. 8.27.

Реакторы серии СРОСЗ сохраняют индуктивность при двукратном номинальном токе. При токах, превышающих это значение, магнитопро-

Таблица 8.25

Тип реактора	Номинальный постоянный ток, А	Номинальная индуктив- ность, мГн	Актив- ное сопро- тивле- ние, мОм	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
				L	B	H	
ФРОС-65/0,5УЗ	250	1,5	6,8	260	260	610	82
ФРОС-65/0,5УЗ	320	1	4,5	260	260	610	84
ФРОС-125/0,5УЗ	500	0,75	3	310	310	610	120
ФРОС-250/0,5УЗ	250	6,5	17,6	385	380	695	216
ФРОС-250/0,5УЗ	320	4,2	11,5	385	380	695	220
ФРОС-250/0,5УЗ	800	0,6	1,7	385	380	695	215
ФРОС-250/0,5УЗ	1000	0,35	1,1	385	380	695	210
ФРОС-500/0,5УЗ	500	3,25	7,5	480	500	740	340
ФРОС-1000/0,5УЗ	800	2,3	4,7	585	580	740	460
ФРОС-1000/0,5УЗ	800	5	7,2	630	630	790	510
ФРОС-1000/0,5УЗ	1000	1,6	3,1	585	580	740	470

вод реакторов насыщается, индуктивность уменьшается. Реакторы серии СРОСЗ малозумные, уровень шума не более 80 дБ, допуск на отклонение уровня шума (по шкале А) 5 дБ. Обмотка реактора выполнена с изоляцией класса F по ГОСТ 8865-70. Реакторы поставляются в защищенном исполнении.

Выводы концов обмоток выполняются шинами, обеспечивающими подключение к ним силовых цепей как сверху, так и снизу реакторов.

Двухстержневые реакторы серии СРОС соответствуют ТУ 16-527.180-82. Они предназначены для работы в схемах ТП на напряжении до 1050 В. Шкала номинальных токов, номинальной индуктивности и ти-

Таблица 8.26

Тип реактора	Параллельное соединение ветвей обмотки реактора			Последовательное соеди- нение ветвей обмотки реактора			Потери в меди при номинальном выпрям- ленном токе, Вт
	Номинальный выпрямлен- ный ток, А	Индуктив- ность, мГн	Ток, до кото- рого сохра- няется индук- тивность, А	Номинальный выпрямлен- ный ток, А	Индуктив- ность, мГн	Ток, до кото- рого сохра- няется индук- тивность, А	
СРОСЗ-800МУХЛ4	1600	0,5	3200	800	2	1600	2100
	2500	0,2	5000	1250	0,8	2500	2100
СРОСЗ-1250МУХЛ4	4000	0,12	8000	2000	0,48	4000	2800
	2500	0,32	5000	1250	1,28	2500	2800
СРОСЗ-2000МУХЛ4	4000	0,2	8000	2000	0,8	4000	4000
СРОСЗ-3200МУХЛ4	6300	0,08	12 600	3200	0,32	6300	4000
СРОСЗ-3200МУХЛ4	6300	0,125	12 600	3200	0,5	6300	4800
СРОСЗ-4000МУХЛ4	8000	0,1	16 000	4000	0,4	8000	5700
СРОСЗ-5000МУХЛ4	10 000	0,08	20 000	5000	0,32	10 000	7500
СРОСЗ-6300МУХЛ4	12 500	0,06	25 000	6300	0,24	12 500	8500

Таблица 8.27

Тип реактора	Номинальный ток, А	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
		L	B	H	
СРОСЗ-800МУХЛ4	800; 1600; 1250; 2500	800	1000	2350	1200
СРОСЗ-1250МУХЛ4	1250; 2500; 2000; 4000				1400
СРОСЗ-2000МУХЛ4	2000; 4000; 3200; 6300				2000
СРОСЗ-3200МУХЛ4 СРОСЗ-4000МУХЛ4 СРОСЗ-5000МУХЛ4 СРОСЗ-6300МУХЛ4	3200; 6300 4000; 8000 5000; 10 000 6300; 12 500	1000	1200		2500 3200 3500 4000

повой мощности выпускавшихся реакторов серии СРОС (ранее эта серия обозначалась ФРОС) совпадает с аналогичной шкалой реакторов серии СРОСЗ.

Основные данные реакторов серии СРОС приведены в табл. 8.28, 8.29. Реакторы серии СРОС сохраняют индуктивность при двукратном

Таблица 8.28

Обозначение типа	Параллельное соединение обмоток реактора			Последовательное соединение обмоток реактора			Потери в меди при выпрямленном токе, Вт
	Номинальный выпрямленный ток, А	Индуктивность, мГн	Ток, до которого сохраняется индуктивность, А	Номинальный выпрямленный ток, А	Индуктивность, мГн	Ток, до которого сохраняется индуктивность, А	
СРОС-800УХЛ4	1600	0,5	3200	800	2	1600	1480
СРОСЗ-800УХЛ4	2500	0,2	5000	1250	0,8	2500	1660
СРОС-1250УХЛ4	2500	0,32	5000	1250	1,28	2500	2360
СРОСЗ-1250УХЛ4	4000	0,12	8000	2000	0,48	4000	2590
СРОС-2000УХЛ4	4000	0,2	8000	2000	0,8	4000	3530
СРОСЗ-2000УХЛ4	6300	0,08	12 600	3200	0,32	6300	3320
СРОС-3200УХЛ4	6300	0,125	12 600	3200	0,5	6300	4900
СРОСЗ-3200УХЛ4	8000	0,1	16 000	4000	0,4	8000	4780
СРОС-4000УХЛ4	8000	0,1	16 000	4000	0,4	8000	4780
СРОСЗ-4000УХЛ4	10 000	0,08	20 000	5000	0,32	10 000	5810
СРОС-5000УХЛ4	10 000	0,08	20 000	5000	0,32	10 000	5810
СРОСЗ-5000УХЛ4	12 500	0,063	25 000	6300	0,252	12 500	8000
СРОС-6300УХЛ4	12 500	0,063	25 000	6300	0,252	12 500	8000
СРОСЗ-6300УХЛ4							

Таблица 8.29

Тип реактора	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
	L	B	H	
СРОС-800УХЛ4	900	700	1210	1550
СРОС-1250УХЛ4	900	714	1420	1860
СРОС-2000УХЛ4	1042	844* (830)**	1595	2915* (2985)**
СРОС-3200УХЛ4	1042	830	1915	3635
СРОС-4000УХЛ4	1285	964	1980	5045
СРОС-5000УХЛ4	1285	964	2095	5500
СРОС-6300УХЛ4	1285	964	2414	6300
СРОСЗ-800УХЛ4	1010	785	1470	1675
СРОСЗ-1250УХЛ4	1010	785	1690	2045
СРОСЗ-2000УХЛ4	1210	915	1950	3050* (3180)**
СРОСЗ-3200УХЛ4	1210	915	2275	3780
СРОСЗ-4000УХЛ4	1450	1035	2275	5300
СРОСЗ-5000УХЛ4	1450	1035	2325	5900
СРОСЗ-6300УХЛ4	1450	1035	2615	7000

* Для исполнения реактора на токи 2000 и 4000 А.

** То же на токи 3200 и 6300 А.

номинальном токе; при токах, превышающих это значение, магнито-провод реакторов насыщается и индуктивность уменьшается.

Реакторы серии СРОС поставлялись в двух исполнениях: открытом (для встраивания в шкафы комплектно-преобразовательного устройства) и защищенном.

Уровень шума реакторов серии СРОС — 105 дБ (по шкале А) — превышает уровень шума реакторов серии СРОСЗ, поэтому в электроприводах вместо реакторов серии СРОС в настоящее время используются мал шумные реакторы серии СРОСЗ, имеющие меньшие размеры и массу.

Реакторы без стального сердечника серии ТРОС соответствуют ТУ 16-521.193-80 и предназначены для работы в цепях выпрямленного тока напряжением до 1050 В. Индуктивность реакторов этой серии сохраняется при любом токе, поэтому они помимо сглаживания пульсаций служат также для обеспечения селективности защиты при внешних коротких замыканиях и опрокидываниях инвертора ТП электроприводов постоянного тока.

Они выпускаются на номинальный ток 1000, 1600, 2500, 4000 и 5000 А и номинальную индуктивность соответственно 0,5; 0,4 (0,8); 0,315 (0,5; 0,8); 0,315 (0,5; 1,0); 0,2 (0,315; 0,63) мГн.

Типовая мощность реакторов 160, 320, 630, 1000, 1600, 2500, 5000 кВ·А.

Основные данные реакторов серии ТРОС приведены в табл. 8.30.

Сравнение данных реакторов серии ТРОС и серии СРОС (СРОСЗ) показывает, что потери в меди у реакторов без стального сердечника в несколько раз превышают аналогичные потери в реакторах со стальным сердечником.

Таблица 8.30

Тип реактора	Ток, А	Эквивалентная индуктивность, мГн	Расчетные потери в мВ	Габаритные размеры, мм			Масса, кг, не более
				L	B	H	
ТРОС-160УХЛ4	1000	0,5	3550	545	980	840	260
ТРОС-320УХЛ4	1600	0,4	5500	628	980	840	387
ТРОС-630УХЛ4	1600	0,8	8100	780	950	1075	685
ТРОС-630УХЛ4	2500	0,315	7600	780	950	1075	645
ТРОС-1000УХЛ4	5000	0,5	10 700	961	890	1180	830
ТРОС-1600УХЛ4	2500	0,8	13 600	970	1300	1460	1223
	4000	0,315	14 500	970	1300	1460	1160
	5000	0,2	13 300	970	1300	1460	1223
ТРОС-2500УХЛ4	4000	0,5	18 800	1230	1300	1470	1774
	5000	0,315	19 300	1230	1300	1470	1624
ТРОС-5000УХЛ4	4000	1	31 100	1730	1320	1470	2959
	5000	0,630	28 800	1730	1320	1470	3049

Реакторы серии ТРОС динамически устойчивы при кратности тока короткого замыкания, равной 15 номинального тока.

Обмотка реактора выполнена с изоляцией класса нагревостойкости F по ГОСТ 8865-70. Выводы реакторов осуществляются шинами. Расположение оси реакторов горизонтальное.

8.6. Токоограничивающие реакторы

Токоограничивающие реакторы включают в цепь переменного тока мостовой выпрямительной схемы ТП.

Для ТП используют сухие трехфазные токоограничивающие реакторы серии РТСТ.

Условное обозначение типа реактора расшифровывается следующим образом: РТСТ — реактор трехфазный сухой (естественное воздушное охлаждение при открытом исполнении) токоограничивающий; первая группа цифр (после тире) — номинальный фазный ток реактора, А; вторая группа цифр — номинальная индуктивность фазы, мГн; УЗ (либо ТЗ) — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

Реакторы серии РТСТ соответствуют ТУ 16-672.026-83. Реакторы серии РТСТ предназначены для подключения к сети трехфазного тока с линейным напряжением 220, 310 и 410 В (при питании от сети 380 В должны использоваться реакторы на 410 В).

Реакторы изготовляют на номинальные токи 20,5; 41; 82; 165; 265; 410; 660 и 820 А, что соответствует номинальным выпрямленным токам ТП 25, 50, 100, 200, 320, 500, 800 и 1000 А.

Индуктивное сопротивление реакторов соответствует напряжению короткого замыкания (для номинального тока), равному 5,5 %. Основные параметры реакторов приведены в табл. 8.31.

Индуктивность каждой фазы реактора, установленного вне шкафа, с учетом взаимной индуктивности отличается от указанной в табл. 8.31

Таблица 8.29

Тип реактора	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
	L	B	H	
СРОС-800УХЛ4	900	700	1210	1550
СРОС-1250УХЛ4	900	714	1420	1860
СРОС-2000УХЛ4	1042	844* (830)**	1595	2915* (2985)**
СРОС-3200УХЛ4	1042	830	1915	3635
СРОС-4000УХЛ4	1285	964	1980	5045
СРОС-5000УХЛ4	1285	964	2095	5500
СРОС-6300УХЛ4	1285	964	2414	6300
СРОСЗ-800УХЛ4	1010	785	1470	1675
СРОСЗ-1250УХЛ4	1010	785	1690	2045
СРОСЗ-2000УХЛ4	1210	915	1950	3050* (3180)**
СРОСЗ-3200УХЛ4	1210	915	2275	3780
СРОСЗ-4000УХЛ4	1450	1035	2275	5300
СРОСЗ-5000УХЛ4	1450	1035	2325	5900
СРОСЗ-6300УХЛ4	1450	1035	2615	7000

* Для исполнения реактора на токи 2000 и 4000 А.

** То же на токи 3200 и 6300 А.

номинальном токе; при токах, превышающих это значение, магнито-провод реакторов насыщается и индуктивность уменьшается.

Реакторы серии СРОС поставлялись в двух исполнениях: открытом (для встраивания в шкафы комплектно-преобразовательного устройства) и защищенном.

Уровень шума реакторов серии СРОС — 105 дБ (по шкале А) — превышает уровень шума реакторов серии СРОСЗ, поэтому в электроприводах вместо реакторов серии СРОС в настоящее время используются малозумные реакторы серии СРОСЗ, имеющие меньшие размеры и массу.

Реакторы без стального сердечника серии ТРОС соответствуют ТУ 16-521.193-80 и предназначены для работы в цепях выпрямленного тока напряжением до 1050 В. Индуктивность реакторов этой серии сохраняется при любом токе, поэтому они помимо сглаживания пульсаций служат также для обеспечения селективности защиты при внешних коротких замыканиях и опрокидываниях инвертора ТП электроприводов постоянного тока.

Они выпускаются на номинальный ток 1000, 1600, 2500, 4000 и 5000 А и номинальную индуктивность соответственно 0,5; 0,4 (0,8); 0,315 (0,5; 0,8); 0,315 (0,5; 1,0); 0,2 (0,315; 0,63) мГн.

Типовая мощность реакторов 160, 320, 630, 1000, 1600, 2500, 5000 кВ·А.

Основные данные реакторов серии ТРОС приведены в табл. 8.30.

Сравнение данных реакторов серии ТРОС и серии СРОС (СРОСЗ) показывает, что потери в меди у реакторов без стального сердечника в несколько раз превышают аналогичные потери в реакторах со стальным сердечником.

Таблица 8.30

Тип реактора	Ток, А	Эквивалентная индуктивность, мГн	Расчетные потери в мВ	Габаритные размеры, мм			Масса, кг, не более
				L	B	H	
ТРОС-160УХЛ4	1000	0,5	3550	545	980	840	260
ТРОС-320УХЛ4	1600	0,4	5500	628	980	840	387
ТРОС-630УХЛ4	1600	0,8	8100	780	950	1075	685
ТРОС-630УХЛ4	2500	0,315	7600	780	950	1075	645
ТРОС-1000УХЛ4	5000	0,5	10 700	961	890	1180	830
ТРОС-1600УХЛ4	2500	0,8	13 600	970	1300	1460	1223
	4000	0,315	14 500	970	1300	1460	1160
	5000	0,2	13 300	970	1300	1460	1223
ТРОС-2500УХЛ4	4000	0,5	18 800	1230	1300	1470	1774
	5000	0,315	19 300	1230	1300	1470	1624
ТРОС-5000УХЛ4	4000	1	31 100	1730	1320	1470	2959
	5000	0,630	28 800	1730	1320	1470	3049

Реакторы серии ТРОС динамически устойчивы при кратности тока короткого замыкания, равной 15 номинального тока.

Обмотка реактора выполнена с изоляцией класса нагревостойкости F по ГОСТ 8865-70. Выводы реакторов осуществляются шинами. Расположение оси реакторов горизонтальное.

8.6. Токоограничивающие реакторы

Токоограничивающие реакторы включают в цепь переменного тока мостовой выпрямительной схемы ТП.

Для ТП используют сухие трехфазные токоограничивающие реакторы серии РТСТ.

Условное обозначение типа реактора расшифровывается следующим образом: РТСТ — реактор трехфазный сухой (естественное воздушное охлаждение при открытом исполнении) токоограничивающий; первая группа цифр (после тире) — номинальный фазный ток реактора, А; вторая группа цифр — номинальная индуктивность фазы, мГн; УЗ (либо ТЗ) — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

Реакторы серии РТСТ соответствуют ТУ 16-672.026-83. Реакторы серии РТСТ предназначены для подключения к сети трехфазного тока с линейным напряжением 220, 310 и 410 В (при питании от сети 380 В должны использоваться реакторы на 410 В).

Реакторы изготовляют на номинальные токи 20,5; 41; 82; 165; 265; 410; 660 и 820 А, что соответствует номинальным выпрямленным токам ТП 25, 50, 100, 200, 320, 500, 800 и 1000 А.

Индуктивное сопротивление реакторов соответствует напряжению короткого замыкания (для номинального тока), равному 5,5 %. Основные параметры реакторов приведены в табл. 8.31.

Индуктивность каждой фазы реактора, установленного вне шкафа, с учетом взаимной индуктивности отличается от указанной в табл. 8.31

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Сухие трансформаторы серии ТСЗПЛ

Сухие трансформаторы серии ТСЗПЛ, выпускаемые Бакинским заводом сухих трансформаторов (БЗСТ), по техническим и конструктивным параметрам взаимозаменяемы с трансформаторами серии ТСЗП, выпускаемыми ПО УЭТМ по ТУ 16-717.053-79 и ТУ 16-672.073-85 (см. § 8.2). Трансформаторы предназначены для питания тиристорных преобразователей с трехфазной мостовой схемой выпрямления с номинальными напряжениями 230, 460, 660 и 825 В и номинальными токами 500, 630, 800, 1000, 1600, 2000, 2500 А. Типовая мощность трансформаторов 400, 630, 1000, 1600 и 2500 кВ·А.

Трансформаторы выпускаются в защищенном исполнении. Схема и группа соединения обмоток трансформаторов мощностью от 400 до

Таблица П.1

Тип трансформатора	Мощность сетевой обмотки, кВ·А	Вентильная обмотка		Преобразователь	
		Напряже- ние, В	Ток, А	Напряже- ние, В	Ток, А
ТСЗПЛ-400/10УЗ	402	570	408	660	500
	364	410	514	460	630
	351	310	653	345	800
	362	205	1020	230	1250
ТСЗПЛ-630/10УЗ	653	577	653	660	800
	574	406	816	460	1000
	548	310	1020	345	1250
	574	203	1632	230	2000
ТСЗПЛ-1000/10УЗ	1015	718	816	825	1000
	1019	577	1020	660	1250
	929	526	1020	600	1250
	927	410	1306	460	1600
	871	308	1632	345	2000
	724	205	2040	230	2500
ТСЗПЛ-1600/10УЗ	1628	720	1306	825	1600
	1611	570	1632	660	2000
	1420	402	2040	460	2500
ТСЗПЛ-2500/10УЗ	2324	411	3267	460	4000
	1979	561	2042	660	2500
	2509	710	2042	825	2500

Таблица П.2

Тип трансформатора	Потери, Вт		Напряжение короткого замыкания, %	Ток холостого хода, %
	холостого хода	короткого замыкания		
ТСЗПЛ-400/10УЗ	1200	5200	5,5	2
ТСЗПЛ-630/10УЗ	1600	6500	5,5	1,7
ТСЗПЛ-1000/10УЗ	2100	8600	5,5	1,2
ТСЗПЛ-1600/10УЗ	3000	12 500	6	0,9
ТСЗПЛ-2500/10УЗ	4800	15 500	6	1,1

Таблица П.3

Тип трансформатора	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
	Длина	Ширина	Высота	
ТСЗПЛ-400/10УЗ	1700	900	1800	1700
ТСЗПЛ-630/10УЗ	1890	1050	1840	2400
ТСЗПЛ-1000/10УЗ	1970	1100	1940	3200
ТСЗПЛ-1600/10УЗ	2180	1100	2445	4500
ТСЗПЛ-2500/10УЗ	2600	1200	2800	6650

630 кВ·А У/Д—11; мощностью от 1000 до 2500 кВ·А У/Д—11 либо Д/Д—0 (по указанию в заказе). Линейное напряжение сетевых обмоток трансформаторов 6 или 10 кВ (по указанию в заказе). Трансформаторы выполняются с ПБВ ($\pm 5\%$). Основные параметры трансформаторов серии ТСЗПЛ приведены в табл. П.1 — П.3.

Изоляция сетевой обмотки — литая (для сравнения — у трансформаторов серии ТСЗП — «моноклит»), материал обмотки — алюминий (у трансформаторов серии ТСЗП — медь), поэтому габаритные размеры трансформаторов серии ТСЗПЛ (завода БЗСТ) и ТСЗП (завода ПО УЭТМ) различны при одинаковых присоединительных и установочных размерах.

Выводы сетевых и вентильных обмоток размещаются на торцевых (узких) сторонах кожухов трансформаторов. При этом трансформаторы изготавливаются в зависимости от расположения выводов сетевых обмоток левого (выводы сетевых обмоток слева) и правого (выводы сетевых обмоток справа) исполнения по отношению к лицевой стороне (сторона таблички технических данных). Выводы вентильных обмоток располагаются с противоположной стороны.

Конструкция выводов сетевых обмоток обеспечивает возможность подсоединения либо кабеля, либо высоковольтного вводного шкафа.

Трансформаторы имеют для передвижения жесткую опорную раму, позволяющую перемещать их при установке в любом направлении.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Сухие трансформаторы типа ТРСДЗП-6300/10УЗ

Сухие трансформаторы типа ТРСДЗП-6300/10УЗ разрабатываются ПО «Уралэлектротяжмаш» и намечены к выпуску в 1989 г. В отличие от рассмотренных в § 8.2 сухих трансформаторов в указанных трансформаторах используется принудительное охлаждение в виде дутья.

Трансформаторы типа ТРСДЗП предназначены для питания ТП электроприводов постоянного тока с 12-пульсной схемой выпрямления с номинальным напряжением 660, 825 и 1050 В и с номинальным током 4000, 5000 и 6300 А. Типовая мощность трансформатора 6300 кВ·А. Линейное напряжение сетевых обмоток 6 или 10 кВ (по указанию в заказе). Трансформаторы выполняются с ПБВ ($\pm 5\%$). Схема и группа соединения обмоток трансформаторов для напряжения питающей сети 6 кВ Д/ДУ—11—0; для напряжения питающей сети 10 кВ У/ДУ—1—0. Основные параметры трансформаторов типа ТРСДЗП-6300/10УЗ приведены в табл. П.4.

Таблица П.4

Преобразователь		Между- фазное на- пряжение вентильной установки, В	Потери, кВт		Напряже- ние корот- кого за- мыкания (сквозное), %	Ток холостого хода, %
Напря- жение, В	Ток, А		холостого хода	короткого замыка- ния		
1050	2×2000	000	10	31	6—8	2
825	2×2500	710		31		2
1050	2×2500	900		38		1,5
660	2×3200	570		31		2
825	2×3200	710		38		1,5

Ориентировочные габаритные размеры трансформатора:

Длина, мм	2900
Ширина, мм	2100
	(3150)*
Высота, мм	3600
Масса, кг	17 000

* При открытых дверях кожуха.

Вводы сетевой и вентильной обмоток трансформаторов располагаются сверху на торцевых (узких) сторонах кожухов.

Трансформаторы изготавливаются в зависимости от расположения вводов сетевых обмоток, левого (выводы сетевых обмоток слева) и правого (выводы сетевых обмоток справа) исполнений по отношению

к лицевой стороне (сторона таблички технических данных). Выводы вентильных обмоток располагаются с противоположной стороны.

Вентильные обмотки защищены пробивными предохранителями.

Вид охлаждения — воздушное с принудительной циркуляцией воздуха. Напряжение питания двигателей 380 В.

Трансформаторы имеют тележки с гладкими переставными катками, позволяющими осуществлять поперечное и продольное передвижение.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Выключатели автоматические быстродействующие и токоограничивающие ВАТ-48

Выключатели автоматические типа ВАТ-48 предназначены для защиты электроустановок постоянного тока от недопустимых перегрузок, коротких замыканий и обратных токов. Выключатели рассчитаны на номинальные токи 2000, 4000, 6300, 12 500 А и напряжения 460, 660 и 1050 В (напряжение 460 В — только для выключателей с номинальными токами 2000 и 4000 А). Максимальное значение отключаемого аварийного тока $I_{откл}$ зависит от индуктивности цепи L и в зависимости от последней для выключателей с номинальным напряжением $U_{ном}$ составляет:

L , мГн	0,2	0,3	0,5	0,8
$I_{откл}$, кА при $U_{ном}$:				
1050 В	120	100	70	45
660 В	100	70	45	35

Максимальное напряжение, возникающее на главных контактах выключателя в процессе отключения, для выключателя с $U_{ном}=460$ В составляет 1060 В, с $U_{ном}=660$ В — 1400 В, с $U_{ном}=1050$ В — 2100 В.

Собственное время размыкания в цепи с максимальными значениями аварийного тока при индуктивности цепи 0,2 мГн не более 2 мс.

Допустимые перегрузки: 25 % в течение 15 мин (1 раз в 2 ч); 50 % в течение 2 мин (1 раз в 1 ч); 75 % в течение 60 с; 100 % в течение 15 с; 125 % в течение 10 с.

Питание цепей управления осуществляется от сети переменного тока 220 В, причем кратковременно потребляемый ток включения одного полюса не более 5 А, а ток удерживания 0,8 А. Кратковременно потребляемый ток при заряде конденсаторной батареи 10 А, время заряда 6 с.

Выключатель допускает 50 000 циклов включение — отключение при отсутствии тока в главной цепи, в том числе 3000 циклов срабатывания импульсного привода.

Выключатели ВАТ-48 имеют значительно меньшие габариты и массу, чем выключатели ВАТ-42. В частности, выключатель с $I_{\text{ном}}=6300$ А и $U_{\text{ном}}=1050$ В имеет собственную массу (без аппаратуры управления) 135 и полную 235 кг, габаритные размеры выключателя $1023 \times 300 \times 750$ мм. Соответственно для выключателя с $U_{\text{ном}}=12\,500$ А и $U_{\text{ном}}=1050$ В масса 280 и 480 кг и габаритные размеры $1023 \times 680 \times 790$ мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Автоматические выключатели серии ВА50

Выключатели автоматические серии ВА50 выпускаются следующих модификаций:

ВА51 и ВА52 на номинальные токи 100 и 160 А — по ТУ 16-641.002-83;
ВА51 и ВА52 на номинальные токи 250, 400 и 630 А — по ТУ 16-641.020-87;

ВА53, ВА54, ВА55 и ВА56 на номинальные токи 400 и 630 А — по ТУ 16-641.022-87;

ВА53-41, ВА54-41, ВА55-41, ВА56-41 на номинальный ток 1000 А — по ТУ 16-522.154-82.

Выключатели серии ВА50 предназначены для замены выключателей серии АЗ700 для установки в электрических цепях напряжением до 660 В переменного тока и до 440 В постоянного тока.

Выключатели изготавливаются следующих исполнений:

1) по роду тока головной цепи: постоянного, переменного;
2) по числу полюсов главной цепи: однополюсные (только ВА51 и ВА52 на ток 100 А), двухполюсные, трехполюсные (двухполюсные и трехполюсные выключатели исполняются в едином габарите);

3) по наличию токограничения: нетокоограничивающие, токоограничивающие;

4) по видам расцепителей: с электромагнитным максимальным расцепителем тока, с полупроводниковым максимальным расцепителем тока, с тепловым расцепителем, независимым расцепителем, минимальным расцепителем;

5) по наличию свободных и вспомогательных контактов: а) со свободными контактами, без свободных контактов, со вспомогательными контактами;

6) по наличию регулировки номинального тока тепловых расцепителей в условиях эксплуатации (только ВА51 и ВА52 на токи 100 и 160 А): а) наличие регулировки; б) без регулировки;

7) по способу присоединения внешних проводников: с передним присоединением, с задним присоединением;

8) по виду привода: ручной, электромагнитный, ручной дистанционный;

9) по наличию защиты выключателей от воздействия окружающей среды и от соприкосновения с токоведущими частями в соответствии с ГОСТ 14255-69: IP00, IP20;

10) по способу установки: стационарные, выдвижные;

11) по наличию дополнительных механизмов: без дополнительных механизмов, с устройством блокировки положения «отключено» (кроме выключателей с приводом).

Время отключения выключателей под воздействием независимого расцепителя не более 0,04 с; время включения и отключения с электромагнитным приводом не превышает 0,3 с (при переменном токе) и 0,5 с (при постоянном токе).

Рассмотрим особенности отдельных серий ВА50.

1. Серия ВА51 и ВА52 на токи 100 и 160 А:

а) ВА51 — неотоограничивающие, ВА52 — токоограничивающие;

б) наличие исполнений с электромагнитным максимальным расцепителем тока и тепловым максимальным расцепителем тока или только с электромагнитным максимальным расцепителем тока;

в) наличие регулировки номинального тока тепловых расцепителей в условиях эксплуатации.

2. Серия ВА51 и ВА52 на токи 250, 400 и 630 А:

а) для переменного тока — выключатели трехполюсные, для постоянного тока — двухполюсные (для напряжения 220 В) и трехполюсные (для напряжения 440 В);

б) ВА51 — средней коммутационной способности, ВА52 — повышенной коммутационной способности;

в) наличие исполнений с тепловым и электромагнитным максимальными расцепителями тока для защиты в зоне токов перегрузки и короткого замыкания.

3. Серия ВА53, ВА54, ВА55 и ВА56 на токи 400 и 630 А и серия ВА53-41, ВА54-41, ВА55-41, ВА56-41 на ток 1000 А:

а) ВА53 — токоограничивающие, ВА54 — токоограничивающие с высокой коммутационной способностью, ВА55 — с выдержкой времени в зоне токов короткого замыкания, предназначенные для селективной работы, ВА56 — автоматические без максимальных расцепителей тока;

б) наличие максимальных расцепителей: расцепитель в зоне токов короткого замыкания с выдержкой времени, расцепитель в зонах токов перегрузки и короткого замыкания; то же с выдержкой времени, без максимальных расцепителей;

в) наличие полупроводниковых максимальных расцепителей тока;

г) наличие в выключателях ВА53, ВА54, ВА53-41, ВА54-41 полупроводниковых и электромагнитных максимальных расцепителей тока для защиты в зоне токов перегрузки и короткого замыкания и для защиты от однофазных замыканий. Выключатели ВА55, ВА55-41 с выдержкой времени в зоне токов короткого замыкания имеют полупроводниковые максимальные расцепители тока с выдержкой времени для защиты в зоне токов перегрузки и короткого замыкания и для защиты от однофазных замыканий. Автоматические выключатели ВА56 и ВА56-41 без максимальных расцепителей изготавливаются на базе выключателей серии ВА56;

д) выключатели ВА53, ВА55, ВА56, ВА53-41, ВА55-41, ВА56-41 — стационарные и выдвижные; ВА54 и ВА54-41 — только в стационарном исполнении.

В обозначении типов выключателей после указания серии (ВА51, ВА52, ВА53, ВА54, ВА55, ВА56) следует за разделительным знаком двузначное число — условное обозначение номинального тока: 31 —

100 А, 33 — 160 А, 35 — 250 А, 37 — 400 А, 39 — 630 А, 41 — 1000 А (для серии ВА51 и ВА52 вместо разделительного знака указывается буква «Г» — для выключателей, предназначенных для защиты двигателей). Далее после второго разделительного знака следуют шесть цифр (для серии ВА51 и ВА52 на 100 А и 160 А — семь цифр), указывающих относительные признаки исполнений по числу полюсов, виду и количеству расцепителей, наличию свободных контактов, способу присоединения внешних проводников, виду привода, способу установки. После третьего разделительного знака указывается двузначное число условного обозначения степени защиты выключателя от воздействия окружающей среды. В конце приводится буква и цифра — условное обозначение вида климатического исполнения по ГОСТ 15150-69.

Примеры условного обозначения выключателей всех серий: ВА51-31-2223160-20УХЛЗ; ВА51-31-3411300-20УХЛЗ; ВА52-35-331150-20ТЗ; ВА53-37-344830-20УХЛЗ; ВА53-41-381815-20УХЛЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Справочник по автоматизированному электроприводу/Под ред. В. А. Елисеева, А. В. Шинянского.** М.: Энергоатомиздат, 1983. 616 с.
2. **Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами/Под ред. В.И. Круповича, Ю. Г. Барыбина, М. Л. Самовера.** М.: Энергоиздат. 1982. 416 с.
3. **Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий/Под ред. М. Г. Зименкова, Г. В. Розенберга, Е. М. Феськова.** М.: Энергоатомиздат, 1983. 480 с.
4. **Унифицированные аналоговые устройства системы УБСР-АИ/М. Н. Анисимов, Е. Д. Лебедев, В. М. Перельмутер и др./Электротехническая промышленность. Электропривод. 1980. № 4 (84). С. 14—16.**
5. **Базилевский В. Г., Гамалей В. Л., Перельмутер В. М. Унифицированная серия комплектных тиристорных электроприводов постоянного тока мощностью 2—12 МВт//Электротехническая промышленность, Электропривод. 1983. № 1 (111). С. 16—21.**
6. **Серия КТЭ постоянного тока с улучшенными технико-экономическими показателями/О. В. Слежановский, С. Ф. Буряк, В. И. Котляр и др./Электротехническая промышленность. Электропривод. 1983. № 5 (115). С. 16—18.**
7. **Унифицированная серия выпрямителей для комплектных электроприводов мощностью 1—12 мВт/С. Ф. Буряк, В. А. Жигало, В. И. Кальной и др./Электротехническая промышленность. Электропривод. 1984. № 9 (131). С. 13—17.**
8. **Гарифов Р. Б., Флейшман Л. С., Голубцов В. Л. Эксплуатационная надежность тиристорных агрегатов и их модернизация//Электротехническая промышленность. Электропривод. 1984. № 12 (134). С. 26—27.**
9. **Силовые полупроводниковые преобразователи в металлургии/С. Р. Резинский, Б. И. Мошкович, И. Х. Евзеров и др. М.: Металлургия. 1976. 184 с.**
10. **Комплектные системы управления электроприводами тяжелых металлорежущих станков/Под ред. А. Д. Поздеева. М.: Энергия, 1980. 288 с.**
11. **Перельмутер В. М., Сидоренко В. А. Системы управления тиристорным электроприводом постоянного тока. М.: Энергоатомиздат. 1988. С. 304.**
12. **Гоичаренко В. К. Особенности применения логических защит в мощных тиристорных электроприводах//Электротехническая промышленность. Преобразовательная техника. 1984. № 1 (159). С. 6—9.**
13. **Управление вентильными электроприводами постоянного тока/Е. Д. Лебедев, В. Е. Неймарк, М. Я. Пистрак и др. М.: Энергия. 1970. 192 с.**

14. Тиристорные электроприводы прокатных станов/Под ред. В. М. Перельмутера. М.: Металлургия. 1978. 152 с.
15. Решмин Б. И., Ямпольский Д. С. Проектирование и наладка систем подчиненного регулирования электроприводов. М.: Энергия. 1975. 184 с.
16. Динамика вентильного электропривода постоянного тока/Под ред. А. Д. Поздеева. М.: Энергия. 1975. 224 с.
17. А. с. 738077 (СССР). Устройство для задания скорости электропривода/В. М. Перельмутер, Д. Я. Перчик, Б. С. Хавин и др.//Открытия. Изобретения. 1980. № 20.
18. Новые узлы в системе управления электроприводом моталки непрерывного стана холодной прокатки/Б. Н. Дралюк, Л. Е. Тикоцкий, В. М. Альшиц и др.//Электротехническая промышленность. Электропривод. 1978. № 7 (69). С. 10—12.
19. Федоров А. М., Вануни В. О., Кузнецова А. К. Система элементов первого порядка блочных унифицированных конструкций (БУК-6)//Электротехническая промышленность. Электропривод. 1979. № 2 (73). С. 13—15.
20. Федоров А. М., Вануни В. О., Кузнецова А. К. Система элементов третьего порядка блочных унифицированных конструкций (БУК-6)//Электротехническая промышленность. Электропривод. 1979. № 7 (78). С. 11—15.
21. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями/О. В. Слежановский, Л. Х. Дацковский, И. С. Кузнецов и др. М.: Энергоатомиздат. 1983. 256 с.
22. Фишлер Я. Л., Урманов Р. Н. Преобразовательные трансформаторы. М.: Энергия. 1974. 224 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

- Автоматический выключатель 25,
32, 49
— типа АЗ700 27, 50—52, 182—
192
— — — АК63 51, 206
— — — ВАР-42 37, 52, 192—199

Б

- Блок резисторов 205, 206
— управления 175, 176, 252—256

В

- Выпрямитель фазочувствительный
101, 212, 226, 257

Д

- Датчик импульсный 119, 129, 181
— напряжения 100, 213, 229, 259
— положения 127, 139, 180
— скорости (тахогенератор) 119,
144, 180
— тока 100, 213, 229, 259
Двигатели 177—180

З

- Задатчик 122, 212, 222, 227
— интенсивности 100, 212, 224, 227
Защита электропривода 16, 84,
117, 163

И

- Импульсный узел 59, 62, 63
Интегрозапоминающее устройство
135—137, 239

К

- Ключ бесконтактный 101, 217, 221,
242

- Компаратор 90, 101, 217, 242
Компоновка комплектная 34, 35,
40—42
— моноблочная 34, 38
— свободная 34, 35, 40, 44
— функционально-модульная 34,
38, 44
Конструкция электропривода 34—
39, 44—48, 169
Контактор 20, 26, 201—205

Л

- Логическая часть электропривода
98, 116—119, 218

М

- Многодвигательный электропривод
22, 40, 113, 128

Н

- Наладка электропривода 149, 156,
157
Нуль-орган 101, 217, 242

О

- Операционный усилитель 100, 215,
220, 236—239

П

- Погрешность регулирования 96—
98
Постоянная времени электромаг-
нитная 102, 159
— — — электромеханическая 102,
160
Предохранитель 59—61, 95, 199—
201
Преобразователь комплектный ти-
ристорный серии ТВ(Р) 7, 11,
15, 47, 55, 81

Преобразователь комплектный тиристорный серии ТЕ(Р) 7, 11, 15, 45, 62

— — — — ТПП1 6, 11, 15, 27, 44, 46, 75, 92, 170

— функциональный 101, 216, 236, 238

Пульт 150, 152—154

Р

Разделитель гальванический 100, 213, 214, 229

Раздельное управление 59, 70—74, 78—80, 82

Реактор анодный (токоограничивающий) 50, 269, 303—305

— сглаживающий 53—56, 268, 299—303

Регулирование мощности 97, 132—142

— натяжения 97, 130—132

Регулятор положения 127, 130, 215, 236

— скорости 119, 142, 161, 234

— тока возбуждения 97, 111, 143, 161

— якоря 100, 103, 215, 233, 235

Реле времени 206, 207

— минимального тока 208, 209

— напряжения 206, 208

— промежуточные 206, 208—211

С

СИФУ 64—84, 158

Состав электропривода 19, 20, 32, 49

Стенд испытательный 149—156

Т

Трансформатор 42, 44, 262, 268

— масляный 41, 268, 279

— — — двухобмоточный с ПБВ 267, 280

Трансформатор масляный двухобмоточный с РПН 267, 280—292

— — — трехобмоточный 267, 292—298

— совтоловый 276—279

— сухой 36, 41, 268—276

У

Устройство деления 101, 216, 238

— умножения 216, 217, 238

Условные обозначения параметров 99

— — — узлов 100—102

Ш

Шкаф 34, 42, 172, 182

Щ

Щит 35, 37—40

Э

Электропривод комплектный тиристорный серии КТЭ 6, 10, 14, 42, 58, 75, 108

— — — — КТЭУ мощностью до 2000 кВт 6, 9, 14, 20, 53, 65, 85, 103, 122, 142, 168

— — — — от 1000 до 12 000 кВт 6, 10, 14, 16, 54, 60, 90, 172

— — — — ЭКТ 6, 9, 14, 22, 38, 49, 59, 72, 106, 122

— — — — ЭПУ1 8, 13, 18, 32, 97, 111, 126

— — — — ЭПУ2 8, 13, 19, 33, 98, 111, 127

— — — — ЭТЗ 7, 12, 18, 31, 110, 115

— — — — ЭТРП 8, 12, 18, 31, 98, 147, 148

— — — — ЭТУ3601 7, 12, 18, 28, 83, 109, 125

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Энергоатомиздат готовит к изданию в 1988 году следующие книги:

Автоматизация типовых технологических процессов и установок: Учебник для вузов / А. М. Корытин, Н. К. Петров, С. Н. Радимов, Н. К. Шапарев. — 2-е изд., перераб. и доп. — 26 л.: 1 р. 10 к.

Браславский И. Я. Асинхронный полупроводниковый электропривод с параметрическим управлением. — 17 л.: 1 р.

Никольский А. А. Точные двухканальные следящие электроприводы с пьезокомпенсаторами. — 9,5 л.: 50 к.

Системы электропривода и электрооборудование роторных комплексов / Ю. Т. Калашников, А. О. Горнов, В. Н. Остриров и др. — 19 л.: 1 р. 10 к.

Яуре А. Г., Певзнер Е. М. Крановый электропривод: Справочник. — 25 л.: 1 р. 60 к.

Рекомендуемые книги Вы можете приобрести во всех книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу.

ББК 31.291

К 63

УДК 62—83:681.5

Рецензент канд. техн. наук В. М. Хуторецкий

Авторы: И. Х. Евзеров, А. С. Горобец, Б. И. Мошкович,
В. М. Перельмутер, Л. А. Яновский

Комплектные тиристорные электроприводы:
К 63 Справочник/И. Х. Евзеров, А. С. Горобец, Б. И. Мошкович и др.; Под ред. канд. техн. наук В. М. Перельмутера. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 319 с.: ил.

ISBN 5-283-00507-0

Приведены данные по комплектным тиристорным электроприводам постоянного тока, выпускаемым ведущими заводами электропромышленности. Рассмотрены схемы силовой части электропривода и системы управления. Приведены сведения по комплектующему электрооборудованию электроприводов.

Для инженерно-технического эксплуатационного персонала, обслуживающего тиристорные электроприводы, и инженеров-проектировщиков соответствующего профиля.

К 2302050000-062
051(01)-88 194-88

ББК 31.291

ISBN 5-283-00507-0

© Энергоатомиздат, 1988